

<b>Bidang Ilmu</b>	<b>: Rekayasa</b>
<b>Tahun</b>	<b>: Kedua</b>

## **LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING**



### **MODEL PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA PROSES PENGGORENGAN MAKANAN KAYA KARBOHIDRAT PADA KEADAAN HAMPA (Penyelesaian dan Validasi Model)**

**Peneliti Utama  
Drs. Jamaluddin, MP**

**Anggota  
Hamzah Nur, SPd, MPd**

Dibiayai oleh DIPA Universitas Negeri Makassar  
No: 0220/023-04.2/XXXIII/2009  
Sesuai Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Makassar  
Nomor: 3307/H36/PL/2009 Tanggal 15 April 2009

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR  
NOVEMBER 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. Judul Penelitian : Model Perpindahan Panas dan Massa Proses Penggorengan Makanan Kaya Karbohidrat pada Keadaan Hampa Penyelesaian dan Validasi Model

Ketua Peneliti :

- a. Nama Lengkap : Jamaluddin, Drs., MP
- b. Jenis Kelamin : L
- c. NIP : 19670723 199203 1 002
- d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- e. Jabatan Struktural : -
- f. Bidang Keahlian : Teknik Mesin Produksi dan Teknik Pertanian
- g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Mesin
- h. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Makassar
- e. Unit Kerja : Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar
- i. Tim Peneliti :

No.	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Drs. Jamaluddin, MP	Kandidat Doktor (S-3) Teknik Pertanian SPs-UGM Yogyakarta	Teknik/Tek. Mesin	UNM Makassar
2.	Hamzah Nur, S.Pd, MPd	Kandidat Doktor (S-3) Manajemen Pendidikan UNJ Jakarta	Teknik/Tek. Mesin	UNM Makassar

2. Pendanaan dan jangka waktu penelitian :

- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 Tahun
- b. Biaya total yang diusulkan : Rp. 100.000.000,-
- c. Biaya yang disetujui tahun I : Rp. 35.000.000,-
- d. Biaya yang disetujui tahun II : Rp. 50.000.000,-

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik,

Prof. Dr. Husain Syam, M.TP  
NIP. 19660707 199103 1 003

Makassar, 10 November 2009  
Ketua Peneliti,

Drs. Jamaluddin, MP  
NIP. 19670723 199203 1 002

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian,

Prof. Drs. H. M. Arief Tiro, M.Pd, M.Sc, P.hD  
NIP. 19520417 197702 1 001

## RINGKASAN DAN SUMMARY

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematik perpindahan panas dan massa secara simultan, membuat secara empirik model matematik perubahan volume dan perubahan tekstur makanan kaya karbohidrat selama proses penggorengan pada kondisi vakum (dibawah tekanan atmosfer). Sampel penelitian adalah kentang yang digoreng pada berbagai variasi suhu, waktu dan tekanan vakum. Parameter yang diamati antara lain kadar air, kandungan minyak, kekerasan, dan pemekaran. Model perpindahan panas dan massa dibuat secara simultan dalam suatu sistem persamaan diferensial ordiner order satu dengan cara numerik menggunakan metode Runge-Kutta, model tersebut kemudian diselesaikan dengan *Program MATLAB* untuk memperoleh kesesuaian antara data percobaan dengan data hasil perhitungan. Model matematik perpindahan panas dan massa yang telah dikembangkan, kemudian diverifikasi dan diuji kepekaannya dengan data percobaan, selanjutnya hasilnya digunakan untuk menemukan pengaruh kondisi dan karakteristik bahan baku (kentang) terhadap fenomena perpindahan panas dan massa secara simultan. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan; 1) model matematik yang telah dikembangkan sudah cukup baik untuk menjelaskan fenomena perpindahan panas dan massa secara simultan selama proses penggorengan vakum sampel, 2) model matematik yang telah dikembangkan cukup baik untuk menjelaskan fenomena perubahan volume yang disebabkan karena terjadinya perubahan kadar air, dan 3) model matematik yang telah dikembangkan cukup baik untuk menjelaskan fenomena perubahan tekstur yang disebabkan oleh perubahan konsentrasi air selama proses penggorengan sampel pada keadaan vakum.

Kata Kunci : Model perpindahan panas dan massa, model empirik perubahan volume, dan model empirik perubahan tekstur

## **PRAKATA**

Penggorengan merupakan salah satu proses pengolahan pangan yang sudah umum digunakan sejak dahulu sampai sekarang, selain karena biayanya yang relatif murah, banyak ragam makanan yang dapat diolah dengan proses penggorengan dan produk yang dihasilkan memiliki rasa yang khas, nikmat, enak, menarik, harum sedap dan garing jika dibandingkan dengan cara pengolahan lain, misalnya merebus dan memanggang terutama untuk makanan dengan kandungan karbohidrat tinggi. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju saat ini, sehingga teknologi proses penggorengan memungkinkan untuk dapat terus dikembangkan dalam industri pangan dalam skala besar.

Dengan selesainya penelitian ini diharapkan hasilnya dapat memberikan informasi dan membantu semua pihak yang berkaitan dengan topik penelitian ini, sehingga hasilnya diharapkan dapat dimanfaatkan masyarakat pada umumnya, industri makanan olahan (produk gorengan) dan bahkan bagi kepentingan akademik utamanya para mahasiswa dalam penyelesaian studinya di perguruan tinggi. Kami menyadari bahwa kegiatan penelitian ini dapat berjalan dengan baik, karena adanya bantuan dan partisipasi dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini kami tak lupa mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Direktur Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M-DIKTI) yang telah memberikan dana penelitian. Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar, Dekan Fakultas Teknik serta semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan namanya dalam kesempatan ini.

Makassar, November 2009

Tim Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	i
RINGKASAN DAN SUMMARY .....	ii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR LAMPIRAN .....	vii
DAFTAR SIMBOL .....	viii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	16
BAB IV. METODE PENELITIAN .....	18
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	38
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	67
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN .....	70

## DAFTAR GAMBAR

No.	Uraian	Hal
Gambar 1.	Skematika Sistem Penggorengan Tekanan Vakum .....	13
Gambar 2.	Neraca Massa dan Panas di Elemen Volum Padatan .....	19
Gambar 3.	Skematika Rencana Tahapan Penelitian .....	32
Gambar 4.	Skema Pengembangan Teknologi Penggorengan pada Tekanan Hampa .....	33
Gambar 5.	Skematik Ultrasonik Set-Up .....	35
Gambar 6.	Riwayat suhu selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg; (b) tekanan 65 cmHg kPa dan (c) tekanan 70 cmHg .....	39
Gambar 7.	Riwayat suhu selama proses penggorengan B bahan pada keadaan vakum (a) suhu 80 °C (b) suhu 90 °C dan (c) suhu 100 °C .....	41
Gambar 8.	Penurunan kadar air bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 cmHg dan (c) tekanan 70 cmHg .....	44
Gambar 9.	Penurunan kadar air bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) suhu 80 °C, (b) suhu 90 80 °C dan (c) suhu 100 °C .....	46
Gambar 10.	Penyerapan minyak bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum tekanan (a) 60 cmHg, (b) 65 cmHg (c) 70 cmHg .....	48
Gambar 11.	Penyerapan minyak bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) suhu 80 °C, (b) suhu 90 dan (c) suhu 100 °C .....	50
Gambar 12.	Riwayat suhu, perubahan kadar air dan kandungan minyak secara simultan proses penggorengan bahan pada suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg .....	52
Gambar 13.	Riwayat suhu, perubahan kadar air dan kandungan minyak secara simultan antara hasil observasi dan prediksi proses penggorengan bahan pada suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg .....	53

Gambar 14.	Hubungan riwayat suhu, perubahan kadar air dan kandungan minyak secara simultan antara hasil observasi dan prediksi proses penggorengan bahan pada suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg .....	55
Gambar 15.	Hubungan perubahan kadar air dengan volume terhadap waktu proses penggorengan bahan pada keadaan vakum. (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 dan (c) tekanan 70 cmHg .....	57
Gambar 16.	Perubahan volume bahan sebagai fungsi kadar air selama proses penggorengan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg	60
Gambar 17.	Perubahan volume sebagai fungsi kadar air antara hasil observasi dengan simulasi selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg	70
Gambar 18.	Hubungan perubahan kadar air dengan tekstur terhadap waktu proses penggorengan bahan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 cmHg dan (c) tekanan 70 cmHg .....	63
Gambar 19.	Perubahan tekstur bahan sebagai fungsi kadar air selama proses penggorengan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg	64
Gambar 20.	Perubahan tekstur sebagai fungsi kadar air antara hasil observasi dengan simulasi selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg .....	64

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Uraian	Hal
Lampiran 1.	Profil kegiatan penelitian	72
Lampiran 2.	Surat perjanjian pelaksanaan penelitian	73
Lampiran 3.	Surat keterangan pelaksanaan penelitian	74
Lampiran 4.	Daftar riwayat hidup tim peneliti	75



## DAFTAR SIMBOL

A	Luas permukaan	$m^2$
$A_p$	Luas permukaan	$m^2$
C	Konsentrasi massa	$kg/m^3$ total
$C_a$	konsentrasi air di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_a^*$	konsentrasi air di luar padatan	$kg/m^3$ total
$C_{am}$	konsentrasi asam amino di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_{gr}$	konsentrasi gula reduksi di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_m$	konsentrasi minyak di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_m^*$	konsentrasi minyak di luar padatan	$kg/m^3$ total
$C_{pt}$	Konsentrasi pati di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_{sk}$	Konsentrasi sukrosa di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_{\beta k}$	Konsentrasi $\beta$ -karoten di dalam padatan	$kg/m^3$ total
$C_p$	Panas spesifik	J/kg K
$D_m$	Difusivitas uap	$m^2/s$
$Ex_{faktor}$	Faktor pengembangan	-
h	Koefisien transfer panas	$W/m^2 K$
$h_{mv}$	Koefisien transfer panas penguapan	m/s
$K_1-K_{32}$	Koefisien persamaan diferensial	-
$Kr_G$	Konstante kecepatan reaksi gelatinisasi	m/s
$Kr_{pf}$	Koefisien perpindahan massa perubahan fase	m/s
$k_g$	Konstante kecepatan reaksi gelatinisasi	m/s
$k_{pf}$	Koefisien perpindahan massa perubahan fase	m/s
$k_m$	Koefisien perpindahan massa minyak	m/s
$k_{mi}$	Konstante kecepatan reaksi maillard	1/ms
$k_{km}$	Konstante kecepatan reaksi karamelisasi	1/s
$k_{\beta k}$	Konstante kecepatan reaksi $\beta$ -karoten	1/ms
k	Konduktivitas panas	$W/m ^\circ C$
$k_s$	Konstanta kinetika untuk pelunakan	$s^{-1}$
$k_h$	Konstanta kinetika untuk pengerasan	$s^{-1}$
$\Delta H_G$	Energi untuk proses reaksi gelatinisasi	J/kg
$\Delta H_{pf}$	Energi untuk proses perubahan fase	J/kg
$\Delta H_{Rg}$	Energi untuk proses reaksi gelatinisasi	J/kg
$\Delta H_{Rkm}$	Energi untuk proses reaksi karamelisasi	J/kg
$\Delta H_{Rmi}$	Energi untuk proses reaksi maillard	J/kg
$\Delta H_{R\beta k}$	Energi untuk proses reaksi $\beta$ -karoten	J/kg
L	Ketebalan	m
M	Berat molekul	kg/k mol
$Mf_n$	Kekuatan maksimum normal	kg
m	Komponen massa	-
$m_v$	Kandungan uap basis basah	$Kg/m^2 s$
n	Perubahan total	-
P	Tekanan total	Pa
$P$	Tekanan parsial	Pa
q	Transfer panas tiap satuan waktu tiap satuan luas	$W/m^2$
Q	Transfer panas tiap satuan waktu	J
$r_g$	Kecepatan reaksi gelatinisasi	kg/s
$r_{pf}$	Kecepatan reaksi perubahan fase (penguapan)	kg/s

$r_m$	Kecepatan reaksi minyak	kg/s
$r_{ml}$	Kecepatan reaksi maillard	kg/s
$r_{km}$	Kecepatan reaksi karamelisasi	kg/s
$r_{\beta m}$	Kecepatan reaksi $\beta$ -karoten	kg/s
$R$	Konstanta gas	J/k mol K
$S$	Kejenuhan air	-
$S_g$	Kejenuhan gas	-
$S_o$	Kejenuhan minyak	-
$S_w$	Kejenuhan air	-
$S_{faktor}$	Faktor penyusutan	-
$T$	Temperatur di dalam bahan	$^{\circ}\text{C}$
$T_m$	Temperatur minyak di permukaan bahan	$^{\circ}\text{C}$
$t, \theta$	Waktu	s
$V$	Volume	$\text{m}^3$
$W$	Penguapan	% w.b
$w$	Pengembangan bahan	m
$x$	Fraksi molar	-
$x, z$	Jarak (posisi kearah sumbu)	m
$\lambda$	Energi untuk proses perubahan fase	J/kg
$\alpha$	Difusivitas uap	$\text{m}^2/\text{s}$
$\rho$	Densitas	$\text{Kg}/\text{m}^3$
$\alpha$	Difusifitas panas	-

#### *Subscripts*

$a$	Air di dalam padatan
$a^*$	Air di luar padatan
$am$	Asam amino
$gr$	Gula reduksi
$sk$	Sukrosa
$\beta-k$	$\beta$ -karoten
$p$	Pati
$g$	Gelatinisasi
$m$	Minyak
$m^*$	Minyak di luar padatan
$ml$	Maillard
$km$	Karamelisasi
$pf$	Perubahan fase
$rg$	Reaksi gelatinisasi
$rkm$	Reaksi karamelisasi
$rml$	Reaksi Maillard
$r\beta k$	Reaksi $\beta$ -karoten
$\phi$	Antar fasa
$s$	Permukaan
$\infty$	Kondisi pada saat $t \approx \infty$
$0$	Awal

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Penggorengan merupakan salah satu proses pengolahan yang umum digunakan sejak dahulu sampai sekarang, selain karena biayanya yang relatif murah, banyak ragam makanan yang dapat diolah dengan proses penggorengan dan produk yang dihasilkan memiliki rasa yang khas, nikmat, enak, menarik, harum sedap dan garing dibandingkan dengan cara pengolahan lain misalnya merebus dan memanggang terutama untuk makanan dengan kandungan karbohidrat tinggi, sehingga memungkinkan untuk dapat dikembangkan dalam industri pangan dalam skala besar.

Penggorengan merupakan proses pemanasan untuk merubah cita rasa, memusnahkan mikroorganisme perusak, menonaktifkan enzim produk, penurunan kandungan air dan meminimalisasi kandungan minyak dalam produk. Pada beberapa tahun terakhir pilihan konsumen terhadap produk makanan goreng yang berkadar lemak rendah mendorong industri makanan untuk memproduksi produk yang memiliki kadar lemak lebih rendah namun masih memiliki tekstur dan cita rasa yang disukai. Penggorengan hampa (*vacuum frying*) menjadi salah satu pilihan industri untuk memproduksi buah dan sayuran karena produk yang dihasilkan memiliki kelebihan antara lain: dapat mengurangi kadar minyak dan mempertahankan warna serta cita rasa yang khas dalam produk (Garayo dan Moreira, 2002; Shyu et. al., 1998).

Selama penggorengan terjadi secara simultan perpindahan panas dari minyak ke permukaan bahan makanan dan uap air berpindah dari bagian dalam bahan ke permukaan. Kondisi ini dapat mengakibatkan banyak perubahan baik secara fisik maupun kimiawi, namun permasalahan secara akademik fenomena perubahan struktur, tekstur dan serapan minyak selama penggorengan makanan berpati belum banyak dipahami dan nampaknya masih sulit untuk dimodelkan karena banyak faktor yang saling berhubungan dan harus diperhitungkan, sehingga tidak cukup penelitian hanya dilakukan pada parameter perpindahan panas dan massa, melainkan juga perubahan yang dapat terjadi selama proses penggorengan.

Selama penggorengan, panas dan uap menyebar ke dalam dan sekitar makanan mengakibatkan perubahan kimia dan perubahan bentuk pada produk. Untuk mengoptimisasi dan meningkatkan kondisi proses dan perlengkapan diperlukan model matematika yang menggambarkan sistem penggorengan. Atteba dan Mittal (1994) mengembangkan beberapa model untuk memprediksi penyebaran panas, uap, dan minyak pada penggorengan bakso daging menggunakan persamaan difusi untuk penyebaran panas dan uap, dan untuk penyebaran minyak selama masa absorpsi dan persamaan aliran kapiler untuk penyebaran minyak selama masa desorpsi. Moreira et. al., (1995) juga menggunakan persamaan difusi untuk penyebaran uap dan panas selama penggorengan kerupuk tortilla. Setelah digoreng, akumulasi minyak pada permukaan kerupuk

terserap cepat. Farkas et. al., (1996) mensimulasikan penyebaran panas dan uap selama penggorengan gorengan franc dengan menggunakan geometri plat infinite. Ni dan Datta (1999) mengembangkan sebuah model untuk penyebaran minyak, air, uap air, dan udara selama penggorengan kentang. Williams dan Mittal (1999) mengembangkan model matematika dengan memasukkan penyebaran panas, uap, dan lemak pada makanan gorengan rendah lemak menggunakan lapisan yang dapat dimakan.

Pemahaman tersebut akan memungkinkan dilakukan rekayasa kualitas pada produk goreng untuk dapat memenuhi selera konsumen, rekayasa kualitas minyak dalam usaha menyelaraskan dengan isu kesehatan konsumen, sehingga ada dorongan untuk mengurangi kandungan minyak dari makanan gorengan. Fenomena ini mendorong industri makanan gorengan beralih menggunakan sistem penggorengan hampa (*vacuum frying*) sebagai salah satu pilihan untuk memproduksi produk makanan gorengan. Penelusuran pustaka memperlihatkan bahwa model penggorengan yang telah dikembangkan selama ini tidak memperlihatkan hubungan antara bahan mentah dan kondisi penggorengan terhadap perubahan yang terjadi pada produk. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk mempelajari fenomena transport dan membuat model matematik perpindahan panas dan massa secara simultan dalam produk selama penggorengan, membuat model matematik proses perubahan struktur, tekstur, penyerapan minyak dan kematangan produk selama penggorengan pada keadaan hampa.

Pokok-pokok pikiran tersebut menunjukkan bahwa perpindahan panas dan massa serta perubahan struktur dalam pangan selama penggorengan merupakan masalah yang kompleks dan masih perlu dicermati. Model matematika dengan kompleksitas beragam telah dikembangkan. Model tersebut berkaitan dengan penggorengan produk individual dengan asumsi sifat fisik yang konstan, sejumlah besar model telah didasarkan pada difusi sederhana, perpindahan panas dan massa menggunakan berbagai pendekatan yang melibatkan atau mengabaikan penguapan (Ateba dan Mittal, 1994; Dincer dan Yildiz, 1996; Moreira et al., 1995; Rice dan Gamble, 1989). Namun model penggorengan yang telah dikembangkan sejauh ini tidak memperlihatkan hubungan kombinasi antara bahan baku dan kondisi penggorengan dengan perubahan struktur (pengkerutan dan pemekaran) serta perubahan tekstur (lunak dan keras), bahkan model tersebut tidak mencakup transport fasa minyak pada produk yang digoreng, padahal banyak perubahan yang tidak diinginkan dapat terjadi dalam makanan selama penggorengan, dimana bisa diperkecil dan proses bisa dikendalikan apabila mutu produk dapat diperkirakan secara akurat.

Kekomplekan proses penggorengan menyebabkan kesulitan dalam mengembangkan model matematik untuk menjelaskan peristiwa yang dapat terjadi dan nampaknya sejauh ini belum banyak informasi mengenai perpindahan panas, perpindahan massa, serapan minyak, perubahan struktur dan perubahan tekstur makanan kaya karbohidrat melalui proses

penggorengan pada keadaan hampa (dibawah tekanan atmosfer). Diharapkan dengan pemahaman dan pengkajian mendalam untuk menemukan model matematik, maka fenomena perpindahan panas dan massa, perubahan struktur, perubahan tekstur, dan serapan minyak selama penggorengan bahan makanan kaya karbohidrat akan dapat dihasilkan produk yang lebih berkualitas untuk pengembangan teknologi dalam proses penggorengan.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **A. Perpindahan Panas dan Massa**

Perpindahan panas selalu diikuti dengan penguapan air dan penyerapan minyak. Beberapa kondisi penggorengan dirancang dan telah melalui percobaan untuk mempelajari perpindahan panas dan massa selama penggorengan yang dilakukan oleh (Chen dan Moreira, 1997; Kawas dan Moreira, 2000; Yamsaengsung dan Moreira, 2001). Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa kejenuhan air dengan kandungan lengas memperlihatkan kesesuaian yang baik antara model yang diramalkan dengan data percobaan, kebanyakan air hilang selama detik pertama penggorengan, dan periode laju menurun pada saat laju kehilangan lengas berkurang. Profil suhu percobaan dan prediksi memperlihatkan adanya suatu periode pemanasan sensibel singkat sampai suhu produk mencapai titik didih air. Setelah periode pemanasan sensibel, sampel memasuki periode suhu tetap pada saat semua panas yang digunakan untuk menguapkan air dari produk. Setelah air diuapkan sampai hampir mencapai keseimbangan, suhu pada daerah tersebut mulai naik sampai mencapai suhu minyak.

Farkas et. al., (1996) menyediakan model suhu dan perpindahan kelembaban yang lebih detail pada penggorengan keripik kentang. Pada model tersebut digunakan dua persamaan terpisah untuk dua wilayah,



yaitu kerak dan inti menggunakan model. Model tersebut juga mencakup aliran yang disebabkan oleh tekanan dalam kerak untuk fasa uap, namun mereka mengabaikan aliran difusi dalam wilayah kerak serta aliran yang disebabkan tekanan pada cairan atau uap dalam inti selanjutnya model tersebut tidak mencakup fasa minyak atau pengaruh dari perubahan porositas terhadap perpindahan panas dan massa.

Hasil penelitian Yamsaengsung dan Moreira (2001) memperlihatkan suhu dipermukaan bahan lebih tinggi jika dibandingkan dengan bagian pusat, hal ini disebabkan karena daerah permukaan berisi lengas sangat sedikit dan mempunyai sifat fisika yang jauh berbeda dibanding daerah inti dengan lengas yang tinggi, sementara ketika penggorengan berlanjut, daerah kerak bertambah tebal dan bergerak ke arah pusat produk. Ni dan Datta (1999) mengembangkan model media berpori multifasa untuk menstimulasi penggorengan keripik kentang. Didasarkan pada pendekatan oleh Whitaker (1977), model mereka melibatkan aliran yang disebabkan tekanan dimana besarnya signifikan pada fasa minyak, uap, dan udara dalam medium berpori non hidroskopik. Namun model mereka tidak memperhitungkan perubahan porositas produk dan pengaruhnya terhadap perpindahan panas dan massa sistem. Penyerapan minyak dianggap terjadi selama penggorengan, sedangkan selama pendinginan diabaikan. Selanjutnya dalam media berpori non hidroskopik yang pejal, mereka mendefinisikan porositas sebagai fraksi volume air dan gas yang besarnya konstan.

Padahal bahan makanan umumnya higroskopik mengandung sejumlah air yang terikat erat dalam matriks padatan. Asensio et. al., (1999) menggunakan yang sama dengan Whitaker mengembangkan suatu model untuk menjelaskan transfer panas dan massa pada pengeringan kertas, pengerutan diperhitungkan dengan melibatkan adanya air yang terikat. Penghilangan air yang terikat dianggap sebagai penyebab pengerutan pada struktur sel bahan. Distribusi kejenuhan air, kejenuhan minyak, suhu, dan tekanan telah dikembangkan oleh Yamsaengsung dan Moreira (2001) menggunakan model dua dimensi (arah radial  $x$  dan  $y$ ). Metode penyusunan elemen dengan masing-masing elemen berupa elemen berisi empat yang bermanfaat untuk memperhitungkan pengembangan dan penyusutan, ketika elemen menjadi tidak bersegi empat. Metode Gauss Legendre digunakan untuk pengintegrasian secara numerik dari masing-masing integral. Masing-masing parameter input diperbaharui secara lokal dan berlaku untuk elemen tertentu. Lebih banyak elemen dipakai pada arah ketebalan, sebab terdapat gradien kejenuhan air dan suhu yang lebih besar dalam arah tersebut.

## **B. Penyelesaian secara Numerik**

Metode finite-element telah digunakan oleh Yamsaengsung dan Moreira (2001) untuk menduga perpindahan panas dan massa yang terjadi selama penggorengan dan pendinginan tortilla. Untuk memperoleh distribusi kejenuhan air, kejenuhan minyak, suhu dan tekanan, pada arah

radial (x) dan (y), diselesaikan suatu analisa dua dimensi terhadap masalah tersebut. Digunakan metoda penyusunan element dengan masing-masing elemen berupa elemen bersisi empat, empat node. Sistem persamaan tidak linier (termasuk kontribusi dari semua elemen) diselesaikan menggunakan FORTRAN Power Station 4.0.

Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa minyak berpindah di permukaan karena adanya tekanan kapiler. Kandungan lengas dan struktur produk diasumsikan tetap selama pendinginan, sedangkan suhu dan tekanan diasumsikan berkurang menuju kondisi lingkungan. Oleh karena itu, transport lengas dianggap sama dengan nol selama pendinginan, selanjutnya mesh dibuat lebih rapat dekat permukaan tempat terjadinya perubahan cepat pada kejenuhan air, kejenuhan minyak, suhu, dan tekanan. Selanjutnya produk diasumsikan berada pada keadaan setimbang sebelum penggorengan. Dengan mengasumsikan adanya simetri geometri batas yang tertutup menghasilkan persamaan massa dan energi sebagai:

$$-K_1 \nabla S_w - K_2 \nabla S_o - K_3 \nabla T - K_4 \nabla P = \vec{n}_w + \vec{n}_v = 0 \quad (1)$$

$$-K_9 \nabla S_w - K_{10} \nabla S_o - K_{11} \nabla T - K_{12} \nabla P = \vec{n}_o = 0 \quad (2)$$

$$-K_{17} \nabla S_w - K_{18} \nabla S_o - K_{19} \nabla T - K_{20} \nabla P = \vec{n}_a = 0 \quad (3)$$

$$-K_{eff} \nabla T = 0 \quad (4)$$

Transfer massa pada permukaan diasumsikan berada pada keadaan seimbang dengan lingkungan. Berapapun penguapan volume

yang terjadi di dalam, penguapan permukaan terjadi secara bersamaan artinya terdapat aliran cairan melalui batas dan menguap seketika. Oleh karena itu penguapan permukaan hanya mempengaruhi aliran massa dan panas pada batas (Ni dan Datta, 1999; Yamsaengsung dan Moreira, 2001). Pada permukaan kejenuhan minyak diasumsikan konstan. Untuk batas terbuka persamaan massa dan energi adalah sebagai berikut:

$$-K_1 \nabla S_w - K_2 \nabla S_o - K_3 \nabla T - K_4 \nabla P = \phi(S_g + S_w) \left( \frac{p_v}{R_v T} - \rho_{vo} \right) h_{mv} \quad (5)$$

$$S_o = S_{o1} \quad (6)$$

$$P = P_{amb} \quad (7)$$

$$-K_{25} \nabla S_w - K_{26} \nabla S_o - K_{27} \nabla T - K_{28} \nabla P = h(T - T_{amb}) \quad (8)$$

Kebanyak kandungan lemak dalam produk diperoleh dari penyerapan minyak selama pendinginan (Moriera dan Barrufet, 1998; Yamsaengsung dan Moreira, 2001). Satu-satunya fenomena transport selama pendinginan adalah penyerapan minyak yang diasumsikan sebagai fungsi dari tekanan kapiler. Untuk memecahkan persamaan diferensial dalam proses pemanasan persamaan (1)–(8) diikuti dengan beberapa persamaan tambahan. Pertama tidak terdapat transfer air, kedua terdapat transfer minyak secara cepat yang disebabkan oleh perbedaan tekanan kapiler. Kondisi batas tertutup adalah sama dengan persamaan (9)–(12) serta kondisi batas terbuka.

$$-K_1 \nabla S_w - K_2 \nabla S_o - K_3 \nabla T - K_4 \nabla P = \bar{n}_v + \bar{n}_w = 0 \quad (9)$$

$$\bar{n}_o = \rho_o \frac{k_i k_{or}}{\mu_o} \frac{\partial p_c}{\partial S_o} \quad (10)$$

$$P = P_{amb} \quad (11)$$

$$-K_{25}\nabla S_w - K_{26}\nabla S_o - K_{27}\nabla T - K_{28}\nabla P = h(T - T_{amb}) \quad (12)$$

Sistem persamaan tidak linier telah diuji oleh Yamsaengsung dan Moreira (2001) dalam mengamati tranfer panas dan massa pada produk gorengan. Pertama-tama diberlakukan kondisi awal, kemudian variabel lokal dihitung berdasarkan variabel nodal dan ukuran elemen. Matriks stiffness untuk masing-masing elemen ditentukan dari variabel yang diamati.

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} S_w \\ S_o \\ T \\ P \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}, J = \begin{bmatrix} J_w \\ J_o \\ J_T \\ J_P \end{bmatrix}$$

Matriks dan vektor kemudian digabungkan untuk membentuk suatu matriks global dan vektor global, sehingga dari hasil penggabungan ini diperoleh persamaan (14).

$$K(\Phi)\Phi + C(\Phi)\frac{\partial \Gamma}{\partial t} + J(\Phi) \quad (14)$$

Selanjutnya persamaan (15) diselesaikan untuk memperoleh variabel nodal pada waktu  $n+1$ .

$$\Phi^{n+1} = - \left[ \frac{K^n}{3} + \frac{C^n}{2\Delta t} \right] \left[ \frac{K^n \Phi^n}{3} + \frac{K^n \Phi^{n-1}}{2\Delta t} + J^n \right] \quad (15)$$

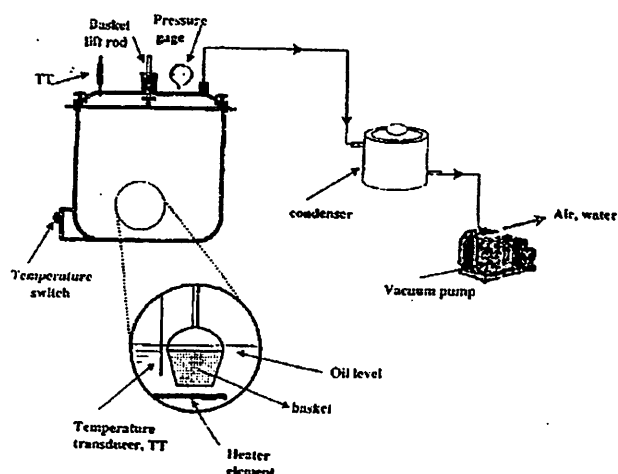
Jika variabel yang baru gagal memenuhi toleransi yang ditetapkan (perbedaan besar antara variabel dari waktu  $n$  ke  $n+1$ ), maka langkah waktu dikurangi setengah kemudian variabel dihitung ulang. Apabila tidak

dijumpai konvergen setelah beberapa iterasi, solusi dianggap divergen dan digunakan parameter atau distribusi mesh baru. Jika variabel yang baru memenuhi batas toleransi, selanjutnya program dilanjutkan dan waktu diperbaharui. Yamsaengsung dan Moreira (2001) telah melakukan penelitian perubahan struktur pada bahan gorengan. Mereka memperhitungkan perubahan struktural selama penggorengan kedalam model karena merupakan hal yang sangat penting dalam memprediksi laju pengeringan, profil suhu, dan kandungan minyak pada produk setelah melalui proses penggorengan.

Crapiste et al., (1988) memperkenalkan istilah kecepatan pengerutan yang bergantung pada data percobaan perubahan dimensi sebagai fungsi kadar lengas. Sedangkan Yamsaengsung dan Moreira (2001) mengembangkan metode yang hampir sama dengan metode kecepatan pengerutan menggunakan data percobaan untuk menghasilkan hubungan empiris pengerutan sebagai fungsi kadar lengas, dan ukuran produk, kemudian disesuaikan sebagai fungsi kadar lengas untuk memperoleh kurva penggorengan dan profil suhu yang lebih akurat. Selanjutnya Yamsaengsung dan Moreira (2001) dari hasil penelitiannya mendefinisikan penggembungan (pengembangan) sebagai penambahan ketebalan produk gorengan yang disebabkan oleh pembentukan gelembung udara pada permukaan. Wilayah kerak akan menimbulkan hambatan yang tinggi terhadap difusi gas sehingga menyebabkan timbulnya tekanan dan pembentukan kantong gas.

### C. Penggorengan Hampa (*Vacuum Frying*)

Penggorengan merupakan proses pemanasan produk pangan dengan suhu tinggi mendekati titik asap minyak. Suhu penggorengan ditentukan oleh pertimbangan ekonomis dan kebutuhan penggorengan produk. Penggorengan dengan suhu yang tinggi menyebabkan terjadinya lapisan keras dengan cepat dipermukaan bahan yang dapat menghambat laju perpindahan panas kebagian dalam dan mencegah perpindahan uap air kepermukaan produk. Oleh karenanya penggorengan hampa menjadi salah satu pilihan untuk mencegah terjadinya peristiwa tersebut. Penggorengan dengan suhu lebih rendah dan tekanan hampa menyebabkan terbentuknya lapisan keras menjadi lambat sehingga memberi kesempatan penguapan air dari dalam produk, selain itu produk akan menjadi kering sebelum terbentuknya lapisan keras dan perubahan warna dipermukaan produk (Jung et. al., 2003; Moreira et. al., 1997; Moreira et. al., 1999).



Gambar 1. Skematika Sistem Penggorengan Tekanam Vakum

Penggorengan hampa (Gambar 1) telah diuji oleh Garayo dan Moreira (2002) sebagai alternatif untuk mengembangkan keripik kentang berkadar minyak rendah, mereka meneliti efek suhu minyak (118, 132, 144°C) dengan tekanan vakum (16,661, 9,888, dan 3,115 kPa) terhadap laju pengeringan dan penyerapan minyak pada penggorengan keripik kentang dan terhadap beberapa sifat mutu produk antara lain pengerutan, warna, dan tekstur, kemudian karakteristik keripik kentang goreng hampa (3,115 kPa dan 144°C) dibandingkan keripik kentang yang digoreng pada kondisi atmosfer (165°C).

Dari hasil penelitiannya dijelaskan bahwa selama penggorengan hampa, suhu minyak dan tekanan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap laju pengeringan dan penyerapan minyak pada keripik kentang. Keripik kentang yang digoreng pada tekanan hampa yang lebih rendah dan suhu yang lebih tinggi memiliki pengerutan volume yang lebih kecil. Warna tidak dipengaruhi secara signifikan oleh suhu minyak dan transfer panas. Nilai kekerasan meningkat dengan semakin meningkatnya suhu minyak dan berkurangnya tekanan hampa. Kentang yang digoreng pada kondisi tekanan hampa (3,115 kPa dan 144°C) memiliki pengerutan volume yang lebih tinggi serta sedikit lebih lunak dan memiliki warna yang lebih cerah dibandingkan keripik kentang yang digoreng pada kondisi atmosfer (165°C). Disimpulkan bahwa penggorengan dengan tekanan hampa merupakan proses yang dapat menjadi alternatif yang lebih layak digunakan untuk memproduksi produk gorengan yang memiliki kadar



minyak rendah dan warna serta tekstur yang lebih disukai serta lebih aman bagi kesehatan.

## **BAB III**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **A. Tujuan Penelitian**

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematik perpindahan panas dan massa dan melakukan pengkajian dan menerapkan model proses penggorengan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa. Selanjutnya tujuan khusus penelitian ini akan meliputi antara lain:

1. Membuat model matematik perpindahan panas dan massa proses penggorengan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa.
2. Membuat model matematik perubahan struktur proses penggorengan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa.
3. Membuat model matematik penyerapan minyak proses penggorengan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa.
4. Membuat model matematik perubahan tekstur proses penggorengan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa.
5. Merekayasa penggorengan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa, sehingga dapat dihasilkan produk makanan goreng yang lebih berkualitas, disukai konsumen dan memenuhi persyaratan kesehatan.

#### **B. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan akan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Model perpindahan panas dan massa, perubahan volume dan tekstur yang dikembangkan dapat digunakan untuk memprediksi mutu produk gorengan secara akurat.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan rujukan bagi masyarakat dan dunia industri untuk menghasilkan produk gorengan yang lebih berkualitas dalam pengendalian mekanisasi dan otomatisasi untuk meningkatkan efisiensi dan pengembangan teknologi penggorengan.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan informasi bagi mahasiswa, akademisi dan peneliti untuk lebih dikembangkan dalam menentukan mutu produk gorengan yang lebih berkualitas untuk pengembangan teknologi penggorengan.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Landasan Teori dan Pengembangan Model**

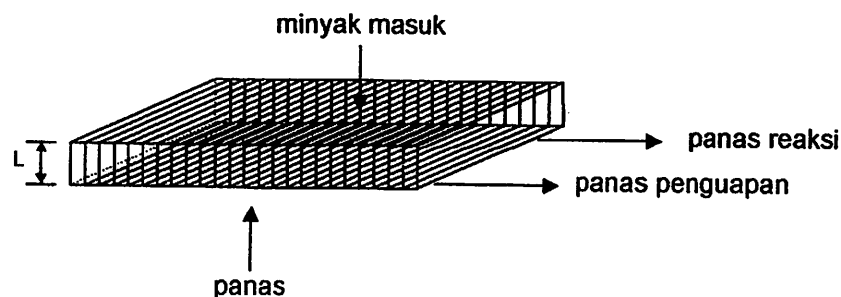
##### **1. Perpindahan Massa dan Panas**

Proses pengeringan dan penggorengan adalah sangat mirip dan telah dibuat banyak untuk menjelaskan dan menduga kedua sistem tersebut. Begitupula dengan persamaan dasar untuk massa dan energi adalah hampir sama, perbedaan pada model umumnya berasal pada sistem yang dijelaskan oleh model tersebut pada masing-masing kasus asumsi dan kondisi batas, mekanisme transpor dan sifat fisik untuk masing-masing sistem akan berbeda-beda. Pada proses penggorengan vakum kentang, karena kentang mengandung air, minyak, pati, sukrosa, gula reduksi, dan  $\beta$ -karoten, sehingga panas yang diterima oleh bahan (kentang goreng) digunakan antara lain; untuk menaikkan suhu bahan, proses reaksi panas penguapan (perubahan fase cair menjadi uap) dalam bahan, proses reaksi gelatinisasi pati, proses reaksi pencoklatan non enzimatis (karamelisasi dan Maillard), perubahan warna alami dan pemasakan bahan.

Model matematika perpindahan panas dan massa disusun berdasarkan pada jumlah komponen yang dikandung oleh bahan, dan diduga akan mengalami reaksi selama proses penggorengan (Gambar 2).

Perpindahan massa dan panas akan dimodelkan dengan model fisik "*lump capacitance*". Asumsi-asumsi utama yang akan digunakan dalam menyusun model adalah sebagai berikut:

1. Suhu dan konsentrasi bahan (air, minyak, pati, sukrosa, gula reduksi, dan  $\beta$ -karoten) dalam produk dianggap merata di seluruh padatan, termasuk permukaan padatan.
2. Penyerapan minyak terjadi selama penggorengan, sedangkan selama pendinginan diabaikan.
3. Perubahan volume disebabkan oleh rongga kosong di padatan, yang terjadi karena menguapnya air terikat dalam bahan.



Gambar 2. Neraca Massa dan Panas di Elemen Volum Padatan

Gambar 2 menjelaskan laju massa dan panas yang mengalir melewati bahan padatan (kentang) setebal  $L$  dan seluas  $A_p$ .

#### a. *Perpindahan Massa*

Neraca massa setiap komponen yang ada di dalam elemen volume padatan (kentang) berdasarkan Gambar 2, kemudian disusun sebagai berikut.

### 1. Neraca Massa Air di Padatan

Persamaan keseimbangan massa air pada elemen volume padatan (kentang) setebal  $L$ , luas  $A_\varphi$  dijabarkan.

Kecepatan air masuk – Kecepatan air keluar = Kecepatan akumulasi

$$0 - r_g \cdot L \cdot A_\varphi - 2r_{pf} \cdot A_\varphi = \frac{d(L \cdot A_\varphi \cdot \bar{C}_a)}{dt} \quad (16)$$

Dimana :  $r_g = k_g \cdot C_a \cdot C_{pt}$  dan  $r_{pf} = k_{pf} (C_a^* - C_a)$ , maka

$$\frac{d\bar{C}_a}{dt} = -k_g (C_a \cdot C_{pt}) - \frac{2}{L} k_{pf} (C_a^* - C_a) \quad (17)$$

Karena bahan yang digunakan (kentang) hanya mempunyai tebal 2 mm, sedangkan lama penggorengan 60 menit, maka kecepatan difusi molekuler di dalam bahan dianggap cukup cepat, sehingga konsentrasi air  $C_a$  di dalam bahan padat (kentang) selalu homogen atau  $C_a = f(IC)$

Kondisi awal (*initial condition/IC*) :

$$t = 0 \rightarrow C_a(L, 0) = f(IC) \text{ untuk semua posisi } L \quad (18)$$

### 2. Neraca Massa Minyak di Padatan

Persamaan keseimbangan massa minyak pada elemen volume padatan (kentang) setebal  $L$ , luas  $A_\varphi$  dijabarkan.

Kecepatan minyak masuk – Kecepatan minyak keluar = Kecepatan akumulasi

$$2r_m \cdot A_\varphi - 0 = \frac{d(L \cdot A_\varphi \cdot \bar{C}_m)}{dt} \quad (19)$$

Dimana :  $r_m = k_m (C_m^* - C_m)$ , maka

$$\frac{d\bar{C}_m}{dt} = \frac{2}{L} k_m (C_m^* - C_m) \quad (20)$$

Karena ukuran dimensi bahan yang digunakan (kentang) mempunyai tebal yang cukup tipis 2 mm, sedangkan lama penggorengan 60 menit, sehingga kecepatan difusi molekuler di dalam bahan dianggap juga cukup cepat, dengan demikian maka konsentrasi minyak  $C_m$  di dalam bahan padat (kentang) selalu homogen atau  $C_m \neq f(IC)$

Kondisi awal (*initial condition/IC*) :

$$t = 0 \rightarrow C_m(L, 0) \neq f(IC) \text{ untuk semua posisi } L \quad (21)$$

### 3. Neraca Massa Pati di Padatan

Persamaan keseimbangan massa pati pada elemen volume padatan (kentang) setebal  $L$ , luas  $A_\phi$  dijabarkan.

$$0 - r_g \cdot L \cdot A_\phi = \frac{d(L \cdot A_\phi \cdot \bar{C}_{pt})}{dt} \quad (22)$$

Dimana :  $r_g = k_g (C_a \cdot C_{pt})$ , maka

$$\frac{d\bar{C}_{pt}}{dt} = -k_g (C_a \cdot C_{pt}) \quad (23)$$

### 4. Neraca Massa Sukrosa di Padatan

Persamaan keseimbangan massa sukrosa pada elemen volume padatan (kentang) setebal  $L$ , luas  $A_\phi$  dijabarkan.

$$0 - r_{km} \cdot L \cdot A_\phi = \frac{d(L \cdot A_\phi \cdot \bar{C}_{sk})}{dt} \quad (24)$$

Dimana:  $r_{km} = k_{km} (C_{sk})$ , maka

Dimana:  $r_{km} = k_{km} (C_{sk})$ , maka

$$\frac{d\bar{C}_{sk}}{dt} = -k_{km} (C_{sk}) \quad (25)$$

### 5. Neraca Massa Gula Reduksi di Padatan

Persamaan keseimbangan massa gula reduksi pada elemen volume padatan (kentang) setebal L, luas  $A_\phi$  dijabarkan.

$$0 - r_{ml} \cdot L \cdot A_\phi = \frac{d(L \cdot A_\phi \cdot \bar{C}_{gr})}{dt} \quad (26)$$

Dimana:  $r_{ml} = k_{ml} (C_{gr} \cdot C_{am})$ , maka

$$\frac{d\bar{C}_{gr}}{dt} = -k_{ml} (C_{gr} \cdot C_{am}) \quad (27)$$

### 6. Neraca Massa $\beta$ -karoten di Padatan

Persamaan keseimbangan massa  $\beta$ -karoten pada elemen volume padatan (kentang) setebal L, luas  $A_\phi$  dijabarkan.

$$0 - r_{\beta k} \cdot L \cdot A_\phi = \frac{d(L \cdot A_\phi \cdot \bar{C}_{\beta k})}{dt} \quad (28)$$

Dimana:  $r_{\beta k} = k_{\beta k} (C_{\beta k})$ , maka

$$\frac{d\bar{C}_{\beta k}}{dt} = -k_{\beta k} (C_{\beta k}) \quad (29)$$

### b. Perpindahan Panas

Berdasarkan pada Gambar 2 maka disusun neraca panas pada elemen volume padatan (kentang) setebal L, luas  $A_\phi$ , dijabarkan sebagai berikut.



$$2LA_{\varphi}h(T_m - T) + 2r_m A_{\varphi} [C_p (T_m - T_{ref})] - 2r_{pf} A_{\varphi} [C_p (T - T_{ref}) + \lambda] - r_g L A_{\varphi} \Delta H_{Rg} - r_{km} \Delta H_{Rkm} L A_{\varphi} - r_{ml} \Delta H_{Rml} L A_{\varphi} - r_{\beta k} \Delta H_{R\beta-k} L A_{\varphi} = \frac{dQ}{dt} \quad (30)$$

Dimana:  $dQ = m \cdot C_p \cdot dT$ ;  $m = A_{\varphi} \cdot \rho \cdot L$

untuk nilai  $\frac{dQ}{dt}$  dapat dijabarkan dari persamaan berikut.

$$m = M_o + m_a + m_m \quad (31)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dm_a}{dt} + \frac{dm_m}{dt} \quad (32)$$

sehingga  $\frac{dQ}{dt}$  diselesaikan menjadi

$$\frac{d(mC_p T)}{dt} = C_p T \frac{dm}{dt} + C_p m \frac{d(T - T_{ref})}{dt} \quad (33)$$

$$= C_p (T - T_{ref}) (2A_{\varphi} k_{pf} (C_a - C_a^*) + 2A_{\varphi} k_m (C_m - C_m^*)) + C_p A_{\varphi} \rho L \frac{dT}{dt} \quad (34)$$

Substitusi persamaan (34) ke dalam persamaan (30), maka menjadi persamaan (35) seperti berikut.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_p \rho} \left( 2h(T_m - T) + \frac{2}{L} r_m [C_p (T_m - T)] - \frac{2}{L} r_{pf} \cdot \lambda - r_g \Delta H_{Rg} - r_{km} \Delta H_{Rkm} - r_{ml} \Delta H_{Rml} - r_{\beta k} \Delta H_{R\beta-k} \right) \quad (35)$$

Karena bahan baku yang digunakan adalah kentang segar hanya mempunyai tebal 2 mm, sementara lama penggorengan adalah 60 menit, dengan demikian maka kecepatan perpindahan panas di dalam bahan dianggap cukup cepat, dan suhu  $T$  di dalam bahan padat (kentang) selalu homogen atau  $T \neq f(IC)$

Kondisi awal (*initial condition/IC*) :

$$t = 0 \longrightarrow T = T \text{ awal untuk semua posisi } L \quad (36)$$

Persamaan (17, 20, 23, 25, 27, 29 dan 35) adalah persamaan diferensial ordiner order satu diselesaikan secara simultan dengan cara numerik, menggunakan metode Runge-Kutta.

## 2. Perubahan Porositas

Proses penggorengan bahan makanan kaya karbohidrat pada keadaan hampa diasumsikan bahan higroskopik sehingga akan ditinjau sebanyak enam fase, yaitu; air, air terikat, uap, udara, minyak, dan matriks padatan. Karena dalam studi ini diasumsikan bahwa seluruh air dalam sistem adalah terikat meskipun barangkali dengan derajat ikatan yang berbeda sehingga kehilangan air akan menyebabkan pengerutan sistem. Didasarkan pendekatan pada rata-rata volume dari Whitaker (1977); Yamsaengsung dan Moreira, (2001) maka dikembangkan persamaan transport energi dan massa multi fase pada suatu model transport media berporos pada penggorengan. Porositas didefinisikan sebagai volume pori dibagi total volume. Untuk bahan makanan berpati dengan tiga komponen (air, minyak dan gas) porositas diselesaikan dengan pendekatan persamaan berikut.

$$\phi = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta V_i}{\Delta V} \quad (37)$$

Dengan  $\Delta V$  adalah perubahan volume. Kejenuhan didefinisikan sebagai volume pori yang diisi oleh satu komponen

$$S_i = \frac{\Delta V_i}{\phi \Delta V} \quad (38)$$

Dengan  $i$  mungkin berupa air, w, minyak, o dan gas, g

$$\sum_{i=1}^3 S_i = 1 \quad (39)$$

Untuk campuran gas antara udara dan uap (subscripts, a dan v) Hukum Dalton's menyatakan bahwa tekanan total adalah sama dengan jumlah tekanan parsial udara luar

$$P = p_v + p_a \quad (40)$$

Densitas molar campuran gas adalah sama dengan

$$C = \frac{P}{RT} \quad (41)$$

Dengan  $P$  adalah tekanan,  $R$  adalah konstanta gas, dan  $T$  adalah suhu. Konsentrasi massa uap, udara, air, dan minyak diberikan dengan persamaan.

$$C_v = \frac{p_v M_v S_g \phi}{RT} \quad (42)$$

$$C_a = \frac{p_a M_a S_g \phi}{RT} \quad (43)$$

$$C_w = p_w \phi S_w \quad (44)$$

$$C_o = p_o \phi S_o \quad (45)$$

### 3. Hukum laju

Selama penggorengan suatu media berpori, akan terjadi fenomena transport sebagai berikut: transport difusi uap dan udara, transport yang disebabkan kapilaritas pada cairan (minyak dan air), dan aliran yang

disebabkan tekanan cairan uap dan udara. Persamaan laju berikut diturunkan dengan cara yang sama dari Ni dan Datta (1999). Dengan menggabungkan aliran difusi dan aliran konvektif (Bird et. al., 1960; Bear, 1972; Yamsaengsung dan Moreira, 2001), total udara dan uap akan menjadi:

$$\bar{n}_a = -\rho_a \frac{k_i k_{gr}}{\mu_g} \nabla P - \frac{C^2}{\rho_g} M_a M_v D_{eff,g} \nabla X_a \quad (46)$$

$$\bar{n}_v = -\rho_v \frac{k_i k_{gr}}{\mu_g} \nabla P - \frac{C^2}{\rho_g} M_a M_v D_{eff,g} \nabla X_v \quad (47)$$

Aliran cairan pada air dan minyak yang didasarkan pada luas penampang dapat dituliskan sebagai:

$$\bar{n}_w = -\rho_w \frac{k_i k_{wr}}{\mu_w} \nabla P - a_m \nabla S_w - \delta_T \nabla T \quad (48)$$

$$\bar{n}_o = -\rho_o \frac{k_i k_{or}}{\mu_o} \nabla P - a_o \nabla S_o - \delta_{To} \nabla T \quad (49)$$

Di mana koefisien  $a_m$ ,  $\delta_T$ ,  $a_{mo}$ , dan  $\delta_{To}$ , dapat dicari dengan cara berikut:

$$a_m = -\rho_w \frac{k_i k_{wr}}{\mu_w} \frac{\partial p_c}{\partial S_w} \quad (50)$$

$$\delta_T = -\rho_w \frac{k_i k_{wr}}{\mu_w} \frac{\partial p_c}{\partial T} \quad (51)$$

$$a_{mo} = -\rho_o \frac{k_i k_{or}}{\mu_o} \frac{\partial p_c}{\partial S_o} \quad (52)$$

$$\delta_{To} = -\rho_o \frac{k_i k_{or}}{\mu_o} \frac{\partial p_c}{\partial T} \quad (53)$$

Tekanan kapiler,  $p_c$ , adalah fungsi dari  $S_w$  dan  $T$

#### 4. Persamaan pengarah

Diasumsikan adanya disemtri pada bagian kanan atas produk yang dilihat dari sisi itu, produk kemudian dibagi menjadi empat bagian. Hanya bagian kanan atas yang ditinjau untuk pengembangan model. Diasumsikan mekanisme transport yang terjadi pada proses penggorengan tidak terjadi adanya transfer massa atau energi dari sisi bawah dan kiri, sebaliknya terjadi aliran difusi dan konfektif pada sisi atas dan kanan produk. Persamaan pengaran untuk air (gabungan air dan uap), minyak, udara, dan energi diperlihatkan pada persamaan (54) sampai (57).

**Konservasi massa air (cairan dan uap):** Laju akumulasi air dalam sistem ditambah laju perubahan air dalam sistem yang disebabkan oleh aliran kovektif dan difusi = laju penguapan air.

$$K_5 = \frac{\partial S_w}{\partial t} + K_7 \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(K_1 \nabla S_w) + \nabla(K_3 \nabla T) + \nabla(K_4 \nabla P) \quad (54)$$

**Konservasi Massa Minyak:** Laju akumulasi minyak dalam sistem = laju perubahan minyak dalam sistem yang disebabkan oleh aliran konvektif dan difusi

$$K_{14} = \frac{\partial S_o}{\partial t} = \nabla(K_{10} \nabla S_o) + \nabla(K_{11} \nabla T) + \nabla(K_{12} \nabla P) \quad (55)$$

**Konservasi Massa Udara:** Laju akumulasi udara dalam sistem = laju perubahan dalam sistem yang disebabkan oleh aliran difusi.

$$K_{21} = \frac{\partial S_w}{\partial t} + K_{23} \frac{\partial T}{\partial t} + K_{24} \frac{\partial P}{\partial t} = \nabla(K_{17} \nabla S_w) + \nabla(K_{19} \nabla T) + \nabla(K_{20} \nabla P) \quad (56)$$

**Konservasi Energi:** Laju akumulasi panas yang disebabkan oleh masing-masing fase dalam sistem ditambah aliran panas pada masing-masing fase dalam sistem = aliran panas yang disebabkan oleh konduksi pada masing-masing fase dalam sistem

$$K_{29} = \frac{\partial S_w}{\partial t} + K_{30} \frac{\partial S_o}{\partial t} + K_{31} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(K_{25} \nabla S_w) + \nabla(K_{26} \nabla S_o) + \nabla(K_{27} \nabla T) + \nabla(K_{28} \nabla P) - (c_{pv} \bar{n}_v + c_{po} \bar{n}_a + c_{pw} \bar{n}_w) \nabla T \quad (57)$$

Nilai koefisien K diperoleh dari Yamsaengsung dan Moriera, (2001).

## 5. Perubahan struktural

Pengukuran perubahan struktural (pengerutan dan pengembangan) selama proses penggorengan makanan berpati pada keadaan hampa diambil dari data hasil percobaan untuk dan diambil dari (Kawas, 2000; Yamsaengsung dan Moriera, 2001) digunakan untuk mengembangkan persamaan empiris faktor pengerutan dan pemekaran seperti fungsi rata-rata kejenuhan air dalam produk. Sesuai algoritma pengembangan (Achanta et al., 1995), menjelaskan bahwa pengembangan ketebalan lebih banyak diperoleh pada bagian tengah produk dan sedikit demi sedikit pengembangan makin berkurang, hal tersebut terjadi karena lebih banyak tekanan gas terdapat pada bagian tengah produk. Secara realistik suatu model mikroskopik mungkin harus dikembangkan untuk menggambarkan pengembangan pori individual. Persamaan empiris untuk pengerutan dan pemekaran diberikan pada (58) dan (61).

$$S_{faktor} = 0.8471 S_w^3 + 0.75713 S_w^2 - 21.914 S_w + 0.90396 \quad (58)$$

Di mana:

$$S_{\text{faktor}} = \frac{d(t)}{d(0)} \quad (59)$$

Dan  $d(t)$  adalah diameter produk pada waktu  $t$  dan  $d(0)$  adalah diameter awal.

$$Ex_{\text{faktor}} = -239.47 S_w^3 + 120.74 S_w^2 - 21.914 S_w + 3.3107 \quad (S_w < 0.20) \quad (60)$$

Di mana:

$$Ex_{\text{faktor}} = \frac{w(t)}{w(0)} \quad (61)$$

Dan  $w(t)$  adalah ketebalan produk pada waktu  $t$  dan  $w(0)$  ketebalan awal.

## 6. Parameter input

Parameter input merupakan hal penting untuk menghasilkan model prediktif yang akurat. Untuk produk yang berbeda parameter input akan berbeda sehingga percobaan yang handal harus dilakukan. Untuk produk makanan tersedia hanya sedikit data misalnya permeabilitas cairan dan gas, penyerapan panas dan kurva tekanan kapiler. Persamaan (46) dijadikan sumber penyerapan panas yang digunakan dalam model ini persamaan tersebut diambil dari Kawas (2000) dengan mencocokkan data eksperimen untuk penggorengan tortilla chips dengan model Chung dan Pfof (1967). Dengan  $k_1$  dan  $k_2$  adalah konstanta  $8.11 \times 10^6 \text{ kg mol/kJ}$  dan 17.91,  $T$  dalam Kelvin, dan  $W$  adalah kadar air (db) (Yamsaengsung dan Moreira, 2001).

$$\ln\left(\frac{p_v}{p_s}\right) = -\frac{k_1}{RT} \exp(-k_2 W) \quad (62)$$

Karena tidak terdapat data permeabilitas untuk makanan berpati maka nilai permeabilitas intrinsip dan relatif mengikuti persamaan yang digunakan Ni dan Datta (1999). Untuk mengukur aliran konvektif dari cairan dan gas yang disebabkan tekanan kapiler beberapa kondisi dan telah lakukan sebelumnya. Pada model ini persamaan Spolek dan Plumb (1981) telah dimodifikasi dan menghasilkan hasil yang bagus. Pada penelitian selanjutnya percobaan harus dilakukan untuk memperoleh kurva tekanan kapiler yang sebenarnya pada produk.

$$p_c = 0.45 \times 10^6 S_w^{-0.23} \quad (63)$$

Kapasitas panas efektif, yang mencakup kontribusi dari seluruh komponen dalam produk diberikan pada persamaan (64)

$$(\rho p_p)_{\text{eff}} = \rho_s C_{ps} (1 - \phi) + \rho_w C_{pw} \phi S_w + \rho_o C_{po} \phi S_o + \rho_g C_{pg} \phi (1 - S_w - S_o) \quad (65)$$

Kapasitas panas pada fraksi padat produk serta komponen lainnya diambil dari Yamsaengsung dan Moriera (2001). Konduktivitas termal efektif dalam (w/m K), yang mencakup kontribusi dari seluruh komponen dalam produk ditunjukkan dalam persamaan (66)

$$k_{\text{eff}} = k_s (1 - \phi) + k_w \phi S_w + k_o \phi S_o + k_g \phi (1 - S_w - S_o) \quad (66)$$

Konduktivitas termal dari fraksi padat produk diambil dari korelasi berikut (Cheng, 1996; Yamsaengsung dan Moriera, 2001):

Untuk  $T \leq 100^\circ\text{C}$

$$k_s = 0.1085 + 0.009986T - 5.203 \times 10^{-6}T^2 \quad (67)$$

Untuk  $T > 100^\circ\text{C}$

$$k_s = 0.06938 + 9.997T \times 10^{-5} + 6.327 \times 10^{-6}T^2 \quad (68)$$



Dengan  $T$  adalah suhu produk. Nilai konduktivitas termal sisanya diambil dari Yamsaengsung dan Moriera (2001).

## 7. Perubahan Tekstur

Perubahan tekstur selama penggorengan dimodelkan dengan menggunakan sebuah model sama dengan yang diusulkan oleh oleh Pedreschi et. al., (2001) dalam mempelajari perkembangan tekstur pada bahan selama penggorengan.

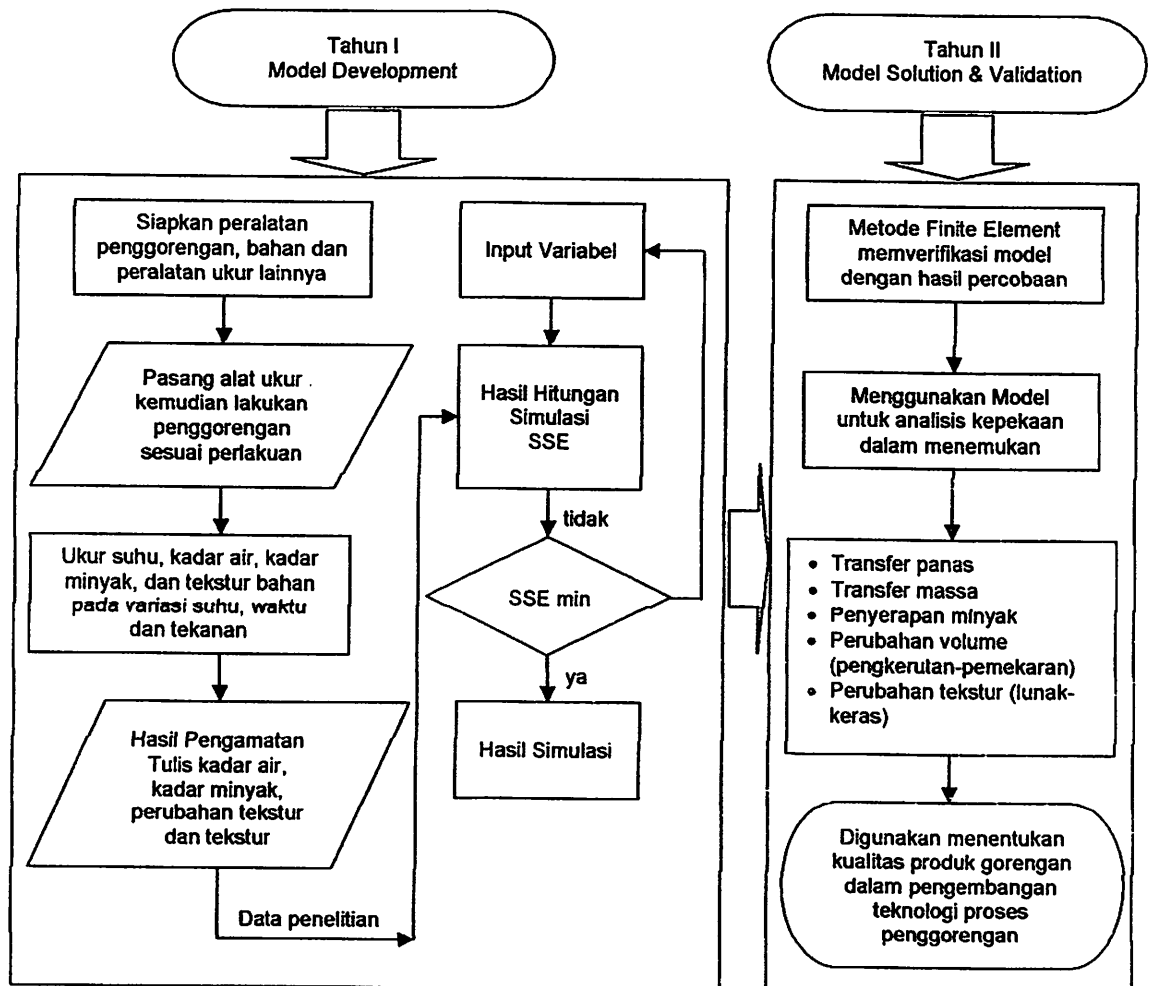
$$MF_n = e^{-k_s t} + k_h t^2 \quad (69)$$

Dimana  $F_n$  adalah kekuatan maksimum yang dinormalkan,  $k_s$  konstan kinetik pelunakan jaringan bahan selama penggorengan ( $s^{-1}$ ),  $k_h$  konstan kinetik proses pengerasan kulit selama penggorengan ( $s^{-1}$ ), dan  $t$  waktu penggorengan (s).

## B. Desain Penelitian

Penelitian ini akan berlangsung selama dua tahun. Penelitian Tahun I (pertama) adalah pengembangan model (model development) dengan mempelajari fenomena transport dan membuat model matematik perpindahan panas dan massa secara simultan dalam produk selama penggorengan, membuat model matematik proses perubahan struktur, tekstur, penyerapan minyak dan kematangan produk selama penggorengan pada keadaan hampa. Sedangkan penelitian Tahun II (kedua) adalah validasi dan penyelesaian model (model solution & validation) menggunakan teknik finite elemen, memverifikasi model

terhadap hasil percobaan, dan selanjutnya menggunakan model tersebut melaksanakan analisis kepaakan untuk menemukan pengaruh suhu minyak, waktu, tekanan, dan ketebalan produk terhadap kadar air akhir, kandungan minyak, perubahan struktur dan tekstur, serta fenomena pembentukan kerak, penguapan, penyerapan minyak, perubahan struktur dan tekstur sebagai fungsi suhu, waktu dan tekanan selama proses penggorengan bahan kaya karbohidrat pada tekanan hampa. Secara sistematis rancangan desain penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.

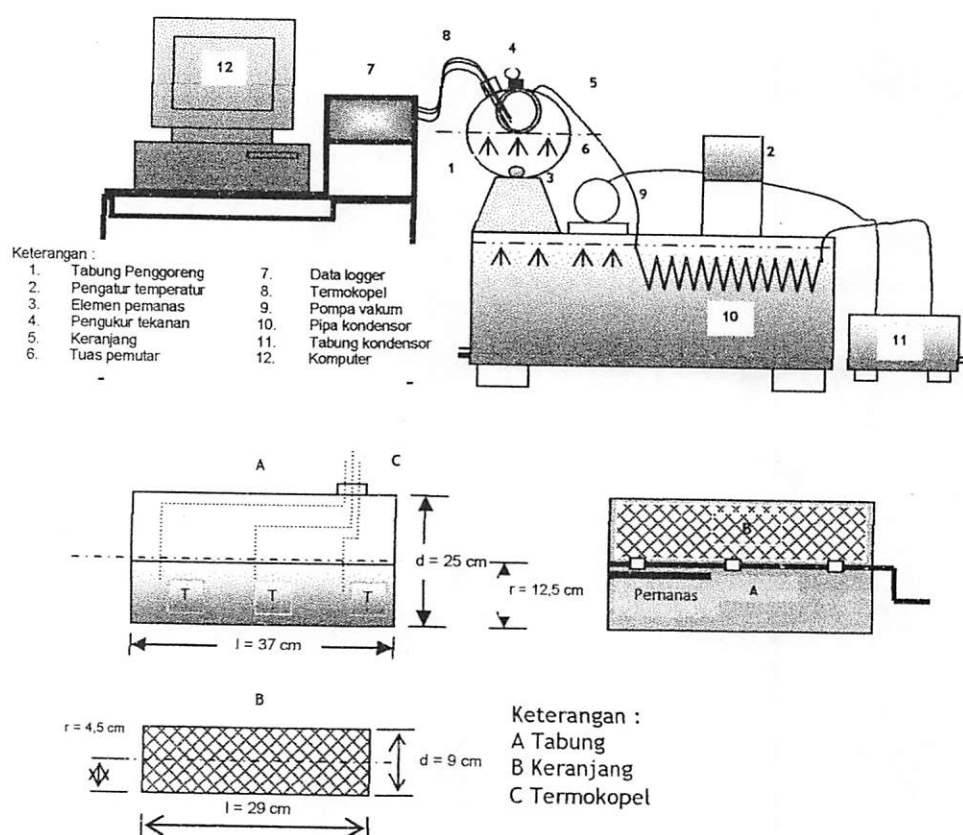


Gambar 3. Skematika Rencana Tahapan Penelitian

## C. Prosedur Penelitian

### 1. Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah kentang segar digoreng pada tekanan hampa. Kapasitas 5 liter, ukuran diameter vakum adalah 20 cm dengan ketebalan tangki 0,5 cm terbuat dari baja tahan karat dan dapat menahan tekanan sebesar -75 cm Hg suhu maksimum 150°C.



Gambar 4. Skema Pengembangan Teknologi Penggorengan pada Tekanan Hampa

### 2. Temperatur Penggorengan

Temperatur eksperimen penggorengan diset pada suhu 70, 80, 90, 100°C + 0,01. sebuah thermocouple dan data logger dengan

menggunakan komputer (Gambar 4) digunakan untuk pengukuran temperatur minyak dan bahan selama proses penggorengan.

### 3. Waktu Penggorengan

Penggorengan diset pada waktu 0, 15, 30, 45 dan 60 menit dengan interval 15 menit, sampai mencapai 60 menit. Waktu dicatat dengan akurasi 0,01 menit.

## D. Rancangan Eksperimen

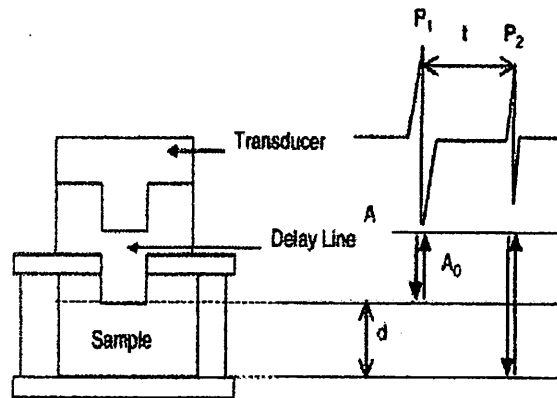
### 1. Pengujian Ultrasonik

Kecepatan dan pengurangan ultrasonik dari sampel masing-masing ditentukan dengan menganalisa isyarat yang dipantulkan yang diberi simbol  $P_1$  dan  $P_2$  pada Gambar 5. K.A. Ross, et al., (2005) menjelaskan bahwa kecepatan ultrasonik ditentukan dari ketebalan sampel  $d$ , dan selisih waktu  $t$ , antara isyarat ( $P_1$ ) yang dipantulkan dari batas jalur tunda dan sampel (yaitu bagian depan sampel) dan isyarat ( $P_2$ ) yang dipantulkan dari batas sampel dan sel pengukuran (yaitu belakang sampel). Perbedaan waktu  $t$ , dihasilkan dari perjalanan dua kali melalui sampel. Oleh karena itu, kecepatan gelombang ultrasonik melalui sampel ditentukan dengan persamaan (70)

$$v = \frac{2d}{t} \quad (70)$$

Untuk gelombang tekan seperti gelombang ultrasonik, kecepatan  $V$  merupakan fungsi dari akar dua modulus lenting bahan  $E$  dan kepadatan  $\rho$  (Povey dan McClement, 1988). Hubungan tersebut dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (71)$$



Gambar 5. Skematik Ultrasonik Set-Up

## 2. Pengujian Tekan Quasi-Statik

Suatu Universal Uji Machine digunakan untuk memampatkan sampel sehingga remuk dengan gaya normal di bawah plat yang dilumasi dengan minyak sayur. Data gaya-regangan spesimen tersebut kemudian digunakan untuk menghitung modulus elastisitas bahan. Modulus kenyal adalah konstanta pembanding menghubungkan tegangan dan regangan (Bir dan Johnson, 1992). Tegangan aksial (tekan atau tensil) adalah gaya dibagi luas tegak lurus gaya tersebut ( $F/A$ ). Regangan adalah ukuran perubahan bentuk relatif yang disebabkan oleh tekanan atau perubahan panjang sampel dibagi panjang semula sampel ( $L^1/L$ ). Modulus lenting dihitung dengan persamaan berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (72)$$

Dalam percobaan, modulus lenting dihitung dari kemiringan kurva tegangan-regangan dalam wilayah regangan 1-4% dan dari dimensi spesimen. Semua percobaan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

### 3. Pengukuran Densitas

Kepadatan dari bahan hasil penggorengan pada kondisi yang berbeda diukur dan dilakukan pada suhu kamar. Spesimen mempunyai volume bentuk tabung sederhana, dihitung dari dimensi sampel silindris sebagai  $v = (\pi D^2/4)h$  dengan  $D$  dan  $h$  adalah garis tengah dan tinggi sampel. Penentuan kepadatan dilakukan tiga kali ulangan. Kepadatan diperoleh dari persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (73)$$

Dengan  $m$  adalah massa dan  $v$  volume sampel. Lebih lanjut, diperkirakan bahwa porositas sebagai volume udara yang menempati ruang kosong dalam sampel. Pengukuran fraksi gelembung udara diambil secara relatif terhadap sampel yang belum digoreng. Diasumsikan bahwa sampel tanpa digoreng tidak memiliki gelembung udara (tanpa fraksi udara) sehingga dapat diambil sebagai acuan untuk pembandingan sampel yang lain. Fraksi gelembung udara diperkirakan dari persamaan berikut (Clayton dan Huang, 1984)

$$\Phi = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (74)$$

Dengan  $\rho_b$  adalah sampel yang digoreng, dan  $\rho_s$  adalah kepadatan dari sampel yang tidak digoreng, yang diasumsikan tidak memiliki gelembung udara.

#### **4. Pengukuran Kadar Air**

Kadar air ditetapkan dengan metode oven (AOAC) yang memiliki ukuran sampel 10 g dalam rangkap tiga dan dilaporkan dalam kg untuk setiap air/kg dari kepadatan kering (basis kering).

#### **5. Pengukuran Kadar Minyak**

Duplikat sampel digunakan untuk menentukan kadar minyak dengan menggunakan metode ekstraksi soxhlet (AOAC).

#### **6. Pengukuran Ketebalan**

Ketebalan setiap sampel diukur pada 3 (tiga) tempat dengan tingkat ketepatan 0,01 mm menggunakan sebuah mikrometer (Mitutoya, Japan).

### **E. Metode Analisis**

#### **1. Analisis Numerik**

Analisa numerik digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial perpindahan panas dan massa menggunakan program turbo basic untuk memperoleh kesesuaian data percobaan dengan prediksi.

#### **2. Analisis Data**

Analisa data dilakukan dengan menggunakan analisis statistik menggunakan regresi atau dengan menggunakan program komputer yang tersedia (excel, lisrel).

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Perpindahan Panas dan Massa secara Simultan**

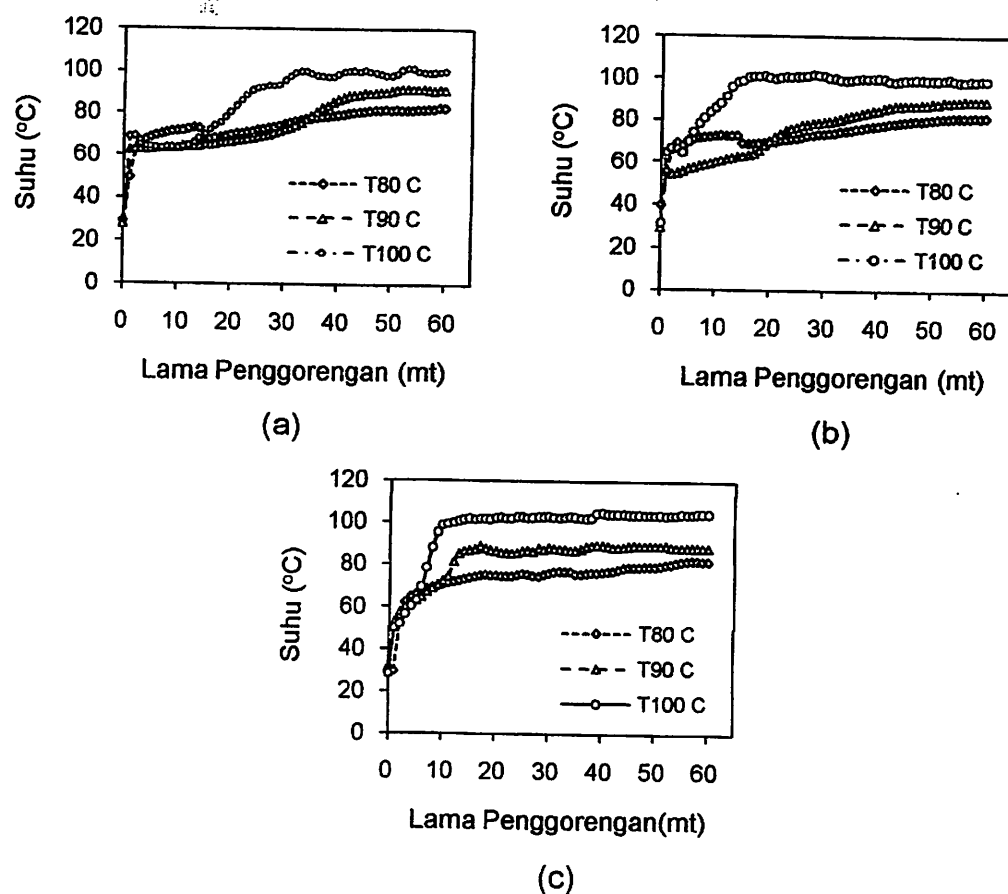
##### **1. Perpindahan Panas dari Minyak Goreng ke dalam Bahan Makanan selama Proses Penggorengan pada Kondisi Vakum**

Selama proses penggorengan vakum, bahan yang digoreng menerima energi panas dari elemen pemanas melalui media minyak goreng. Energi panas tersebut digunakan untuk menaikkan suhu, proses gelatinisasi, penguapan air, reaksi karamelisasi, reaksi maillard, proses pemasakan dan perubahan warna produk. Dalam proses penggorengan secara vakum, suhu dan tekanan vakum mempunyai peranan terhadap lama penggorengan sampai bahan menjadi masak (matang). Perubahan suhu bahan yang digoreng pada tekanan vakum ditunjukkan pada Gambar 6a, 6b dan 6c. Tekanan vakum selama penggorengan dipertahankan tetap (60 cmHg; 65 cmHg dan 75 cmHg).

Dari gambar tersebut nampak suhu bahan yang digoreng meningkat sangat cepat setelah menit ke 5, ditandai oleh kurva garis yang tajam. Hal ini menggambarkan adanya proses perpindahan panas yang terjadi sangat cepat dari minyak panas ke permukaan kemudian masuk ke dalam bahan, setelah itu kemudian suhu bahan cenderung meningkat secara perlahan-lahan dan akhirnya menjadi konstan yang dicirikan oleh kurva garis datar. Diduga pada kondisi ini energi panas dari minyak goreng digunakan untuk proses gelatinisasi dan proses penguapan air.



Setelah proses penggorengan melewati kondisi ini, selanjutnya suhu bahan meningkat lagi mendekati atau sama dengan suhu minyak goreng, kemudian suhu minyak goreng cenderung menjadi konstan. Pada kondisi ini suhu minyak goreng diduga lebih banyak digunakan untuk proses pemasakan dan penguapan lebih lanjut sampai akhir proses penggorengan atau sampai produk menjadi masak.



Gambar 6. Riwayat suhu selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg; (b) tekanan 65 cmHg kPa dan (c) tekanan 70 cmHg

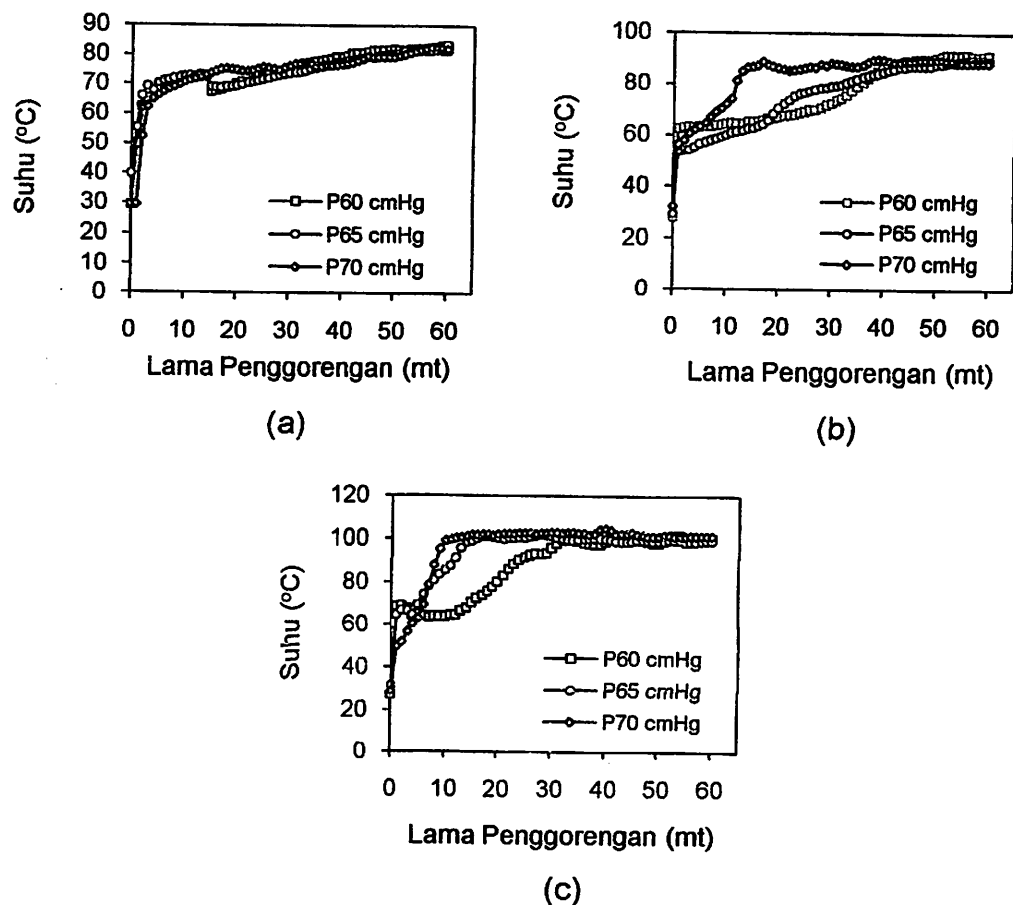
Kondisi di atas sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Supriyanto, *et. al.*, (2007). Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa energi panas dalam proses penggorengan makanan berpati digunakan

antara lain untuk; menaikkan suhu bahan, proses gelatinisasi, penguapan air, dan pemasakan. Namun penelitian tersebut belum memasukkan ke dalam model tentang adanya energi panas dalam proses penggorengan untuk proses reaksi karamelisasi, proses reaksi maillard dan proses perubahan warna. Dalam penelitian ini kondisi tersebut akan dimasukkan ke dalam model.

Dari Gambar 6a, 6b dan 6c nampak penggorengan dengan suhu minyak paling tinggi (100 °C) kenaikan suhunya bahan lebih cepat (waktunya lebih singkat 10 menit) sampai menyamai suhu minyak goreng jika dibandingkan dengan suhu lebih rendah 80 °C dan 90 °C pada tekanan vakum konstan. Kondisi ini mungkin disebabkan karena pada proses penggorengan dengan suhu tinggi, energi panas yang masuk ke dalam bahan lebih besar jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah, atau sebaliknya. Sehingga bahan yang digoreng pada suhu tinggi lebih cepat menjadi matang jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah. Temuan yang diperoleh dalam penelitian ini hampir sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Winarno (1980). Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa dalam proses pemanasan ada hubungan antara suhu dan lama penggorengan, jika suhu yang digunakan rendah maka waktu pemanasan akan lebih lama, sebaliknya apabila suhu yang digunakan tinggi waktu pemanasannya akan menjadi lebih singkat.

Pengaruh tekanan vakum terhadap suhu penggorengan ditunjukkan pada Gambar 7a, 7b dan 7c, suhu minyak goreng selama

penggorengan dipertahankan tetap 80 °C, 90 °C, dan 100 °C. Dari gambar tersebut nampak pada tekanan vakum yang lebih tinggi bentuk kurvanya cenderung agak datar, sedangkan pada tekanan yang lebih rendah bentuk kurvanya cenderung agak tajam. Kondisi ini menggambarkan bahwa proses penggorengan bahan dengan tekanan vakum lebih tinggi, dibutuhkan waktu yang agak lama (10 menit sampai 20 menit) sampai suhu bahan sama dengan suhu minyak goreng, sedangkan penggorengan bahan pada tekanan vakum lebih rendah dibutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mencapai suhu minyak goreng (5 menit sampai 10 menit).



Gambar 7. Riwayat suhu selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum (a) suhu 80 °C (b) suhu 90 °C dan (c) suhu 100 °C

Uraian di atas menunjukkan bahwa bahan yang digoreng pada suhu lebih tinggi ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dengan tekanan vakum lebih rendah ( $70\text{ cmHg}$ ) dibutuhkan waktu yang lebih singkat sampai suhu bahan sama dengan suhu minyak goreng ( $10\text{ menit}$ ) jika dibandingkan dengan suhu  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada tekanan  $70\text{ cmHg}$ . Hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Garayo dan Moreira (2002). Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa kentang yang digoreng pada suhu lebih tinggi ( $144\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan tekanan vakum  $3,113\text{ kPa}$  memerlukan waktu lebih singkat ( $360\text{ detik}$ ) untuk mencapai kadar air yang sama pada suhu  $132\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $118\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tekanan sama  $3,113\text{ kPa}$ ).

## **2. Perpindahan Massa Air selama Proses Penggorengan Bahan pada Kondisi Vakum**

Berdasarkan dari hasil penelitian tahun pertama telah diuraikan bahwa penurunan kadar air di dalam bahan yang digoreng dicirikan oleh adanya penguapan air dengan terjadinya gelembung gas dari permukaan bahan ke media minyak panas. Penurunan kadar air selama proses penggorengan diduga disebabkan karena hilangnya sebagian air dalam bahan. Berkurangnya air selama proses penggorengan terjadi dalam dua cara; pertama transfer massa air dari dalam ke permukaan bahan yang kemudian menguap ke lingkungan (dalam minyak panas), dan kedua perubahan massa air menjadi uap yang terjadi di dalam bahan.

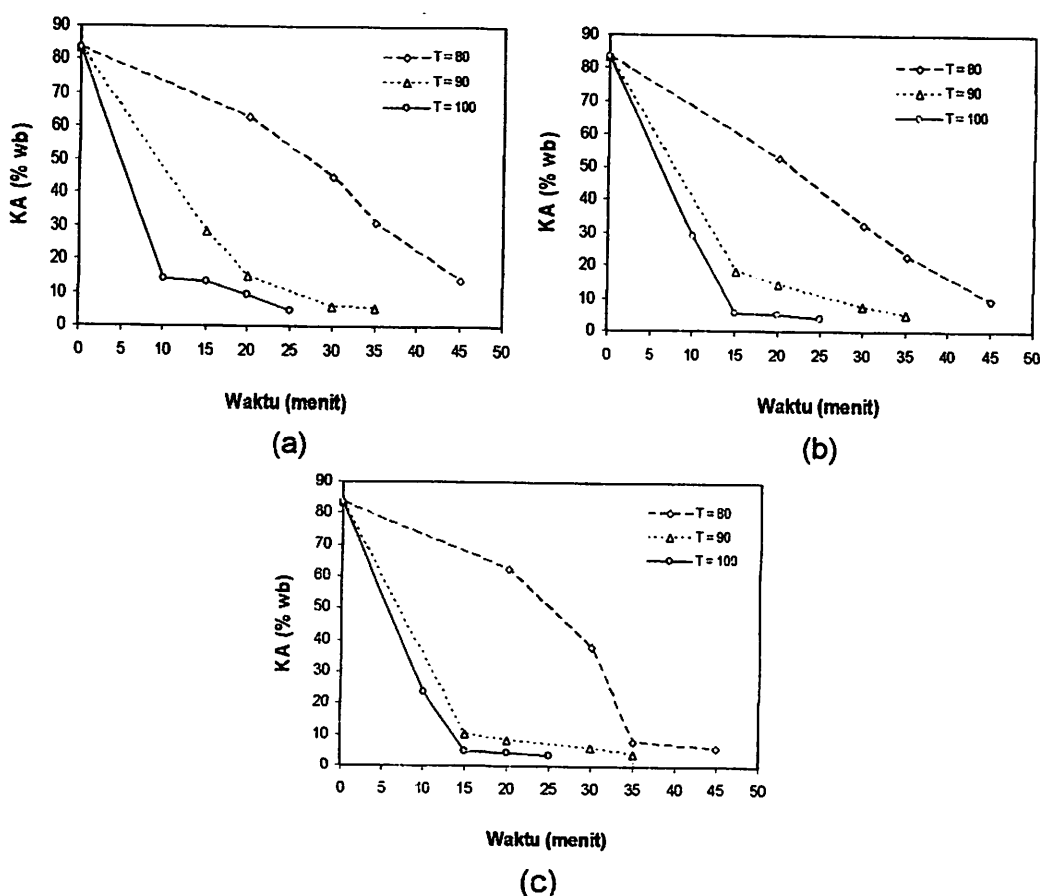
Gambar 8a, 8b dan 8c ditunjukkan hubungan antara waktu penggorengan dengan perubahan kadar air bahan yang digoreng. Dari

gambar tersebut nampak penurunan kadar air bahan cenderung mengikuti kurva eksponensial. Pada awal proses penggorengan, laju penurunan kadar air konstan kemudian semakin menurun (kecil). Diduga proses perpindahan massa air berlangsung dari dalam ke permukaan bahan disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi massa air antara bagian dalam dan permukaan pada bahan yang digoreng, di mana konsentrasi massa air di permukaan bahan lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi massa air di bagian dalam, sehingga air yang berada dibagian permukaan bahan lebih cepat menjadi uap karena adanya kontak langsung dengan minyak goreng yang mempunyai suhu di atas titik didih air.

Massa air terdifusi dari dalam ke permukaan bahan secara kontinyu sampai selesainya proses penggorengan. Perubahan fase yang dialami oleh sebagian massa air yang berada di dalam bahan yang digoreng disebabkan karena adanya perubahan suhu yang melebihi suhu titik didih air. Makin tinggi suhu penggorengan semakin singkat (pendek) waktu penggorengan yang dibutuhkan jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah membutuhkan waktu lebih lama (panjang) pada kondisi penggorengan atmosferik, dan nampaknya hal ini menunjukkan sama dengan kondisi penggorengan pada tekanan vakum.

Penggorengan dengan suhu rendah menghasilkan kurva yang semakin panjang, sedangkan penggorengan dengan suhu tinggi kurvanya lebih pendek. Hal ini menggambarkan bahwa pada suhu penggorengan

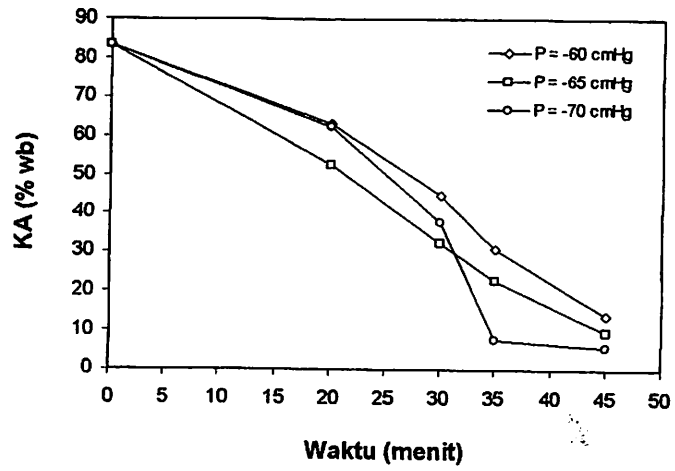
yang lebih tinggi dibutuhkan waktu penggorengan yang lebih singkat jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah. Dari Gambar 8a, 8b dan 8c dapat dilihat penurunan kadar air bahan selama proses penggorengan pada kondisi vakum dengan berbagai variasi tekanan 60 cmHg, 65 cmHg dan 70 cmHg. Hasil penelitian ini sama dengan temuan Winarno (1980) yang mengemukakan bahwa dalam proses penggorengan ada hubungan antara suhu dan waktu penggorengan, jika suhu yang digunakan rendah maka waktu penggorengan akan lebih lama, sebaliknya apabila suhu yang digunakan tinggi waktu penggorengan akan menjadi lebih singkat.



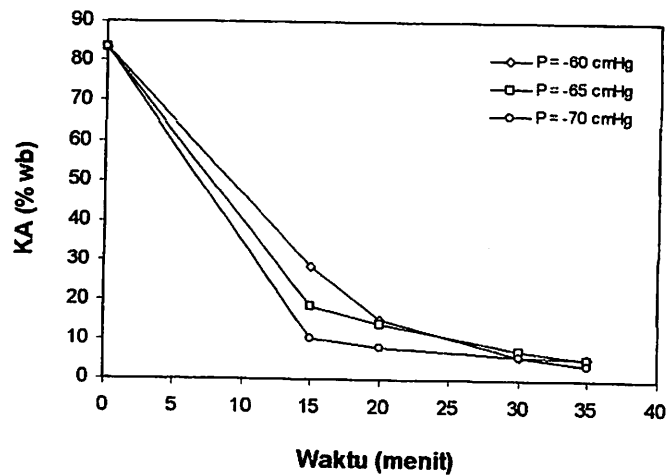
Gambar 8. Penurunan kadar air bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 cmHg dan (c) tekanan 70 cmHg

Tekanan vakum berpengaruh terhadap laju penurunan kadar air pada bahan yang digoreng. Penurunan tekanan juga dapat mempengaruhi waktu yang diperlukan pada penggorengan bahan sampai matang (masak) dan penurunan kadar air bahan (Gambar 9a, 9b dan 9c). Berdasarkan gambar nampak tekanan vakum yang lebih rendah menghasilkan kurva yang pendek, daripada tekanan yang lebih tinggi. Kurva yang lebih panjang menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk proses penggorengan akan lebih lama. Kurva yang paling panjang diperoleh pada penggorengan kentang goreng dengan suhu 80 °C dengan tekanan 60 cmHg. Sedangkan kurva paling pendek ditunjukkan pada suhu penggorengan 100 °C dengan tekanan vakum 70 cmHg

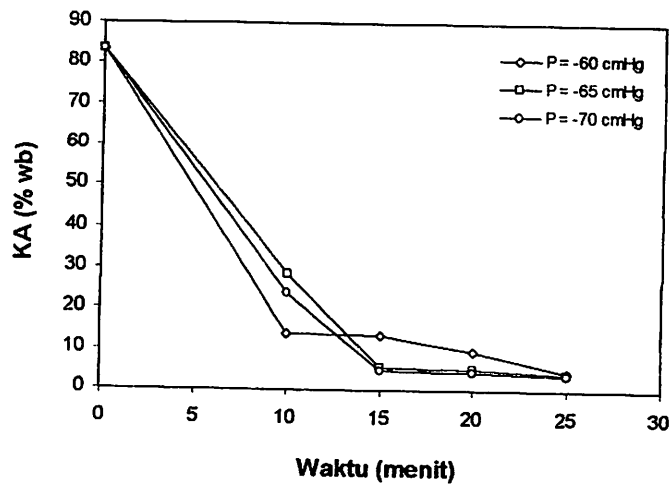
Penurunan kadar air dalam bahan berlangsung dengan cepat diduga disebabkan karena adanya perbedaan tekanan antara ruang penggorengan dengan tekanan atmosfer, mengakibatkan bahan akan kehilangan uap air lebih cepat. Peristiwa ini terjadi selain karena adanya perbedaan antara titik didih minyak dengan titik didih air, juga karena titik didih minyak dan titik didih air mengalami penurunan, disebabkan karena air disedot ke tabung vakum, sehingga waktu pemasakan menjadi lebih cepat. Makin jauh perbedaan antara tekanan di dalam ruang penggorengan dengan tekanan atmosfer (tekanan ruang penggorengan semakin rendah), air yang disedot ke tabung vakum akan semakin besar pula, sehingga penurunan kadar air di dalam bahan terjadi lebih cepat jika dibandingkan dengan pada tekanan vakum yang lebih tinggi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Penurunan kadar air bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) suhu 80 °C, (b) suhu 90 °C dan (c) suhu 100 °C



### **3. Perpindahan Massa Minyak selama Proses Penggorengan Bahan pada Kondisi Vakum**

Sesuai dengan hasil penelitian pada tahun pertama telah dijelaskan bahwa terjadi penyerapan minyak pada bahan makanan yang digoreng, sehingga kondisi ini perlu diperhitungkan untuk dimasukkan ke dalam model. Peningkatan kadar minyak bahan yang digoreng pada keadaan vakum dengan berbagai variasi tekanan 60 cmHg, 65 cmHg dan 70 cmHg (Gambar 10a, 10b dan 10c). Dari Gambar tersebut nampak suhu minyak tinggi waktu penggorengan semakin singkat (pendek), jika dibandingkan dengan suhu minyak yang lebih rendah waktu penggorengan menjadi lebih lama (panjang). Sehingga dapat dipahami bahwa suhu penggorengan berpengaruh terhadap peningkatan kandungan kadar minyak bahan selama proses penggorengan pada tekanan vakum. Penggorengan dengan suhu minyak rendah menghasilkan kurva yang panjang, sedangkan penggorengan dengan suhu minyak lebih tinggi menghasilkan kurva yang pendek. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu penggorengan yang lebih tinggi dibutuhkan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah dan sebaliknya.

Proses penyerapan minyak terjadi ketika massa minyak secara perlahan masuk ke dalam bahan pada awal proses penggorengan, dan semakin meningkat bersamaan dengan seiring meningkat suhu minyak dengan penurunan tekanan vakum. Massa minyak masuk ke dalam bahan yang digoreng dengan cara difusi, disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi massa minyak pada bagian permukaan dengan bagian dalam

### 3. Perpindahan Massa Minyak selama Proses Penggorengan Bahan pada Kondisi Vakum

Sesuai dengan hasil penelitian pada tahun pertama telah dijelaskan bahwa terjadi penyerapan minyak pada bahan makanan yang digoreng, sehingga kondisi ini perlu diperhitungkan untuk dimasukkan ke dalam model. Peningkatan kadar minyak bahan yang digoreng pada keadaan vakum dengan berbagai variasi tekanan 60 cmHg, 65 cmHg dan 70 cmHg (Gambar 10a, 10b dan 10c). Dari Gambar tersebut nampak suhu minyak tinggi waktu penggorengan semakin singkat (pendek), jika dibandingkan dengan suhu minyak yang lebih rendah waktu penggorengan menjadi lebih lama (panjang). Sehingga dapat dipahami bahwa suhu penggorengan berpengaruh terhadap peningkatan kandungan kadar minyak bahan selama proses penggorengan pada tekanan vakum. Penggorengan dengan suhu minyak rendah menghasilkan kurva yang panjang, sedangkan penggorengan dengan suhu minyak lebih tinggi menghasilkan kurva yang pendek. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu penggorengan yang lebih tinggi dibutuhkan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah dan sebaliknya.

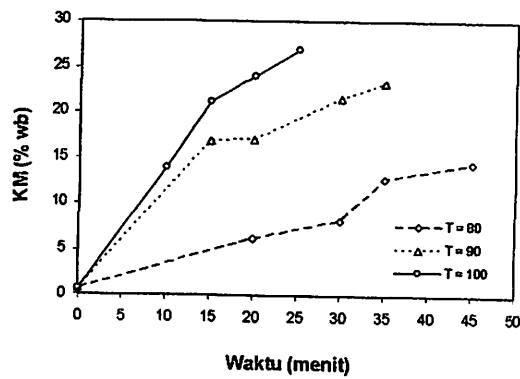
Proses penyerapan minyak terjadi ketika massa minyak secara perlahan masuk ke dalam bahan pada awal proses penggorengan, dan semakin meningkat bersamaan dengan seiring meningkat suhu minyak dengan penurunan tekanan vakum. Massa minyak masuk ke dalam bahan yang digoreng dengan cara difusi, disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi massa minyak pada bagian permukaan dengan bagian dalam

### **3. Perpindahan Massa Minyak selama Proses Penggorengan Bahan pada Kondisi Vakum**

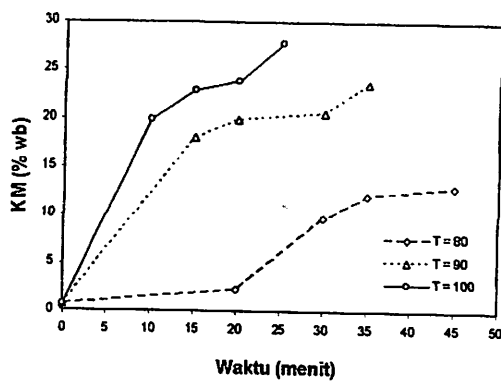
Sesuai dengan hasil penelitian pada tahun pertama telah dijelaskan bahwa terjadi penyerapan minyak pada bahan makanan yang digoreng, sehingga kondisi ini perlu diperhitungkan untuk dimasukkan ke dalam model. Peningkatan kadar minyak bahan yang digoreng pada keadaan vakum dengan berbagai variasi tekanan 60 cmHg, 65 cmHg dan 70 cmHg (Gambar 10a, 10b dan 10c). Dari Gambar tersebut nampak suhu minyak tinggi waktu penggorengan semakin singkat (pendek), jika dibandingkan dengan suhu minyak yang lebih rendah waktu penggorengan menjadi lebih lama (panjang). Sehingga dapat dipahami bahwa suhu penggorengan berpengaruh terhadap peningkatan kandungan kadar minyak bahan selama proses penggorengan pada tekanan vakum. Penggorengan dengan suhu minyak rendah menghasilkan kurva yang panjang, sedangkan penggorengan dengan suhu minyak lebih tinggi menghasilkan kurva yang pendek. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu penggorengan yang lebih tinggi dibutuhkan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah dan sebaliknya.

Proses penyerapan minyak terjadi ketika massa minyak secara perlahan masuk ke dalam bahan pada awal proses penggorengan, dan semakin meningkat bersamaan dengan seiring meningkat suhu minyak dengan penurunan tekanan vakum. Massa minyak masuk ke dalam bahan yang digoreng dengan cara difusi, disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi massa minyak pada bagian permukaan dengan bagian dalam

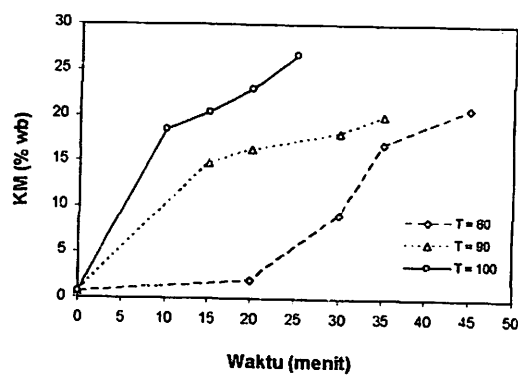
bahan. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses penyerapan minyak pada bahan yang digoreng dipengaruhi oleh suhu minyak dan tekanan vakum.



(a)



(b)

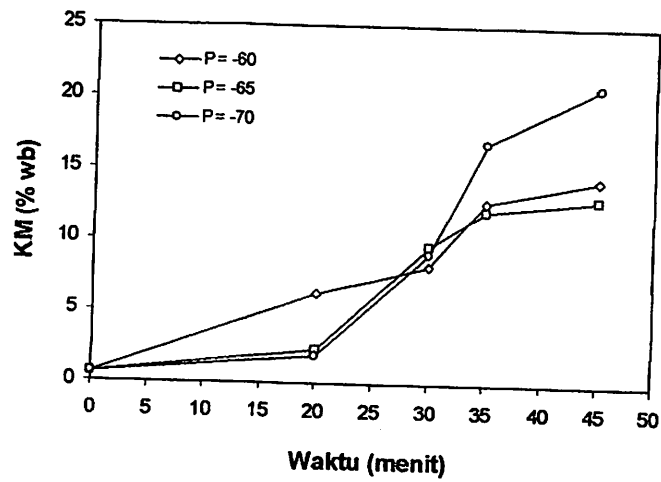


(c)

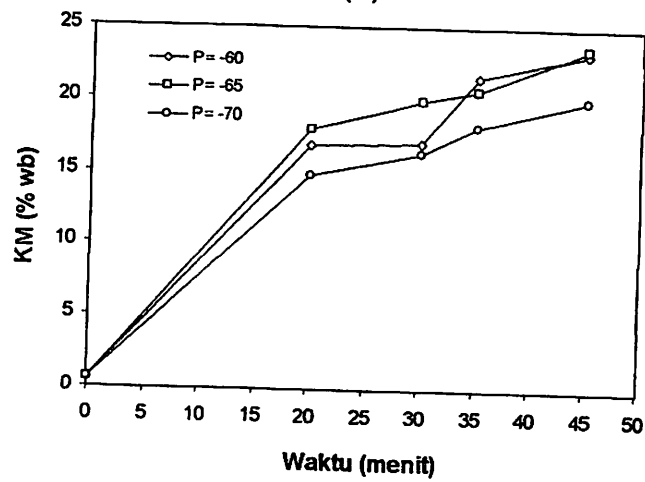
Gambar 10. Penyerapan minyak bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 cmHg dan (c) tekanan 70 cmHg

Tekanan vakum dapat mempengaruhi proses penyerapan minyak pada bahan. Efek dari tekanan vakum terhadap proses penyerapan minyak pada bahan yang digoreng diperlihatkan dalam Gambar 11a, 11b dan 11c. Dari gambar tersebut nampak kemiringan garis lebih tajam terjadi pada penggorengan bahan dengan tekanan lebih rendah jika dibandingkan dengan tekanan yang lebih tinggi. Peningkatan kadar minyak pada bahan lebih cepat terjadi pada proses penggorengan dengan tekanan vakum yang rendah jika dibandingkan dengan tekanan vakum yang lebih tinggi.

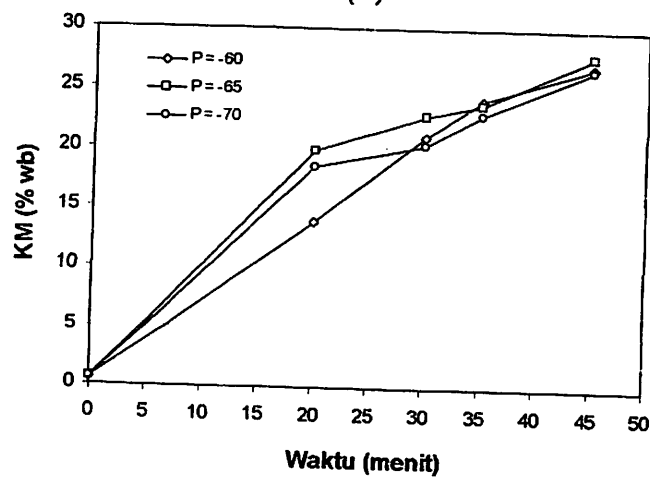
Gambar 11a, 11b dan 11c menunjukkan bahwa makin tinggi tekanan vakum semakin datar kemiringan garis yang dihasilkan, dan sebaliknya jika proses penggorengan bahan dilakukan pada tekanan yang lebih rendah kurva kemiringan garis yang dihasilkan semakin tajam. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyerapan minyak pada bahan lebih cepat (besar) terjadi ketika proses penggorengan dilakukan pada tekanan yang lebih rendah yang dicirikan secara fisik pada produk akhir dengan kandungan kadar minyak yang tinggi, dan sebaliknya ketika proses penggorengan bahan dilakukan pada tekanan yang lebih tinggi penyerapan minyak pada bahan yang digoreng lebih lambat (rendah) yang dicirikan pula secara fisik pada produk akhir dengan kandungan kadar minyak yang rendah. Hal ini menggambarkan bahwa tekanan vakum berpengaruh terhadap proses penyerapan minyak pada bahan selama proses penggorengan.



(a)



(b)



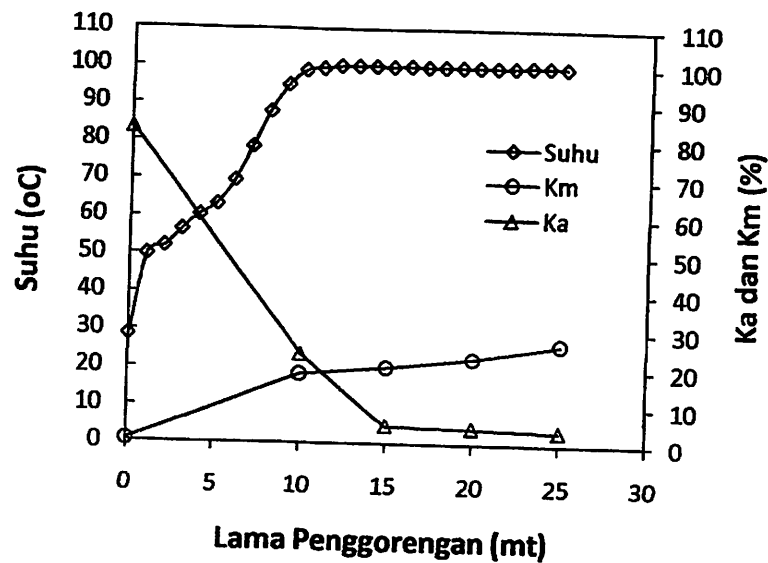
(c)

Gambar 11. Penyerapan minyak bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum (a) suhu 80 °C, (b) suhu 90 °C dan (c) suhu 100 °C

#### **4. Model Matematika Perpindahan Panas dan Massa secara Simultan Proses Penggorengan Bahan pada Keadaan Vakum**

Selama proses penggorengan vakum, terjadi perpindahan panas dan massa secara simultan di dalam bahan yang digoreng. Penggabungan laju perubahan suhu, penguapan air dan penyerapan minyak akan dapat memperlihatkan keterkaitan ketiga proses tersebut. Dalam Gambar 12 diperlihatkan hasil penelitian riwayat suhu, kadar air dan kadar minyak penggorengan bahan pada tekanan vakum 70 cmHg dan suhu minyak goreng 100 °C. Selama penggorengan suhu minyak goreng dijaga tetap. Dari gambar tersebut nampak keterkaitan ketiga proses tersebut, yaitu perpindahan panas, penguapan air dan penyerapan minyak selama proses penggorengan bahan secara vakum.

Kenaikan suhu dimulai dari suhu awal bahan 28,6 °C dan berubah sampai mencapai suhu 95 °C yang merupakan suhu titik didih air pada tekanan vakum 70 cmHg. Kenaikan suhu bahan pada awal penggorengan menggambarkan adanya perpindahan panas dari minyak panas ke dalam bahan. Diawal penggorengan suhu bahan 28,6 °C kemudian meningkat dengan cepat menjadi 95 °C, diduga disebabkan karena sebagian besar energi panas yang diterima bahan digunakan untuk menaikkan suhu bahan. Kemudian suhu bahan konstan pada kisaran 95 °C sampai dengan 100 °C dan selanjutnya secara perlahan naik kembali mendekati atau sama dengan suhu minyak goreng 100 °C. Pada kondisi ini suhu minyak tetap konstan sampai proses penggorengan bahan selesai.



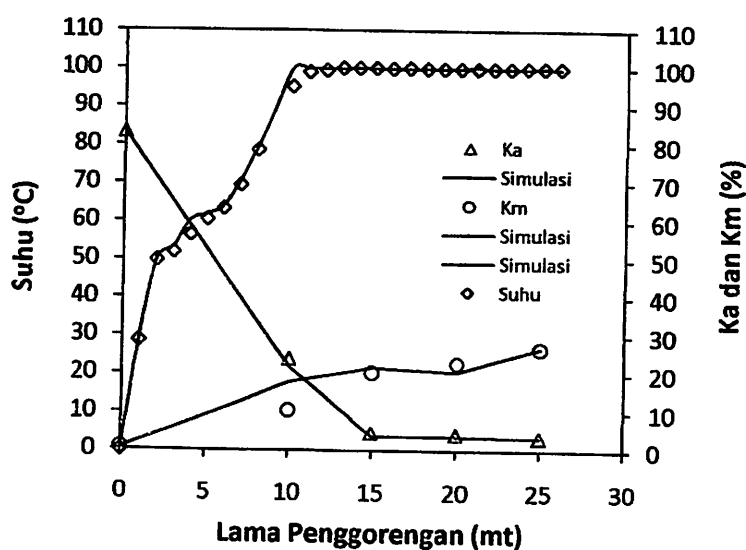
Gambar 12. Riwayat suhu, perubahan kadar air dan kandungan minyak secara simultan proses penggorengan bahan pada suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg.

Selama proses penggorengan vakum, bahan yang digoreng menerima energi panas dari elemen pemanas melalui media minyak goreng. Energi panas tersebut digunakan untuk menaikkan suhu bahan, dan untuk proses perubahan fase air dari bentuk cair menjadi uap. Menurut Supriyanto *et. al.*, (2007) energi panas tersebut digunakan untuk menaikkan suhu bahan, proses gelatinisasi, penguapan air, dan pemasakan. Namun dalam penelitian ini energi panas tersebut juga akan digunakan untuk proses maillard, proses karamelisasi dan proses perubahan warna. Dari Gambar 12 nampak diawal penggorengan sampai menit ke 10, suhu bahan mengalami kenaikan yang sangat cepat sampai mencapai suhu 95 °C, diduga pada kondisi ini energi panas digunakan untuk menaikkan suhu bahan, proses gelatinisasi, proses perubahan fase dari cair menjadi uap, proses maillard, proses karamelisasi dan proses



perubahan warna bahan. Pada saat suhu minyak sudah mencapai 95 °C diduga energi panas pada kondisi tersebut digunakan untuk proses perubahan fase dari cair menjadi uap di dalam bahan.

Selama proses perubahan fase dibutuhkan energi yang cukup besar sedangkan persediaan energi dari sumber panas masih konstan, sehingga suhu bahan yang digoreng pada kondisi ini tidak mengalami kenaikan beberapa saat. Selain itu karena adanya tekanan vakum selama proses penggorengan, menyebabkan titik didih air dan titik asap minyak turun, sehingga energi panas yang tersedia lebih banyak digunakan untuk penguapan air dari dalam bahan. Setelah proses perubahan fase selesai suhu bahan kembali perlahan-lahan naik mendekati atau sama dengan suhu minyak goreng sampai proses penggorengan selesai (bahan menjadi masak).

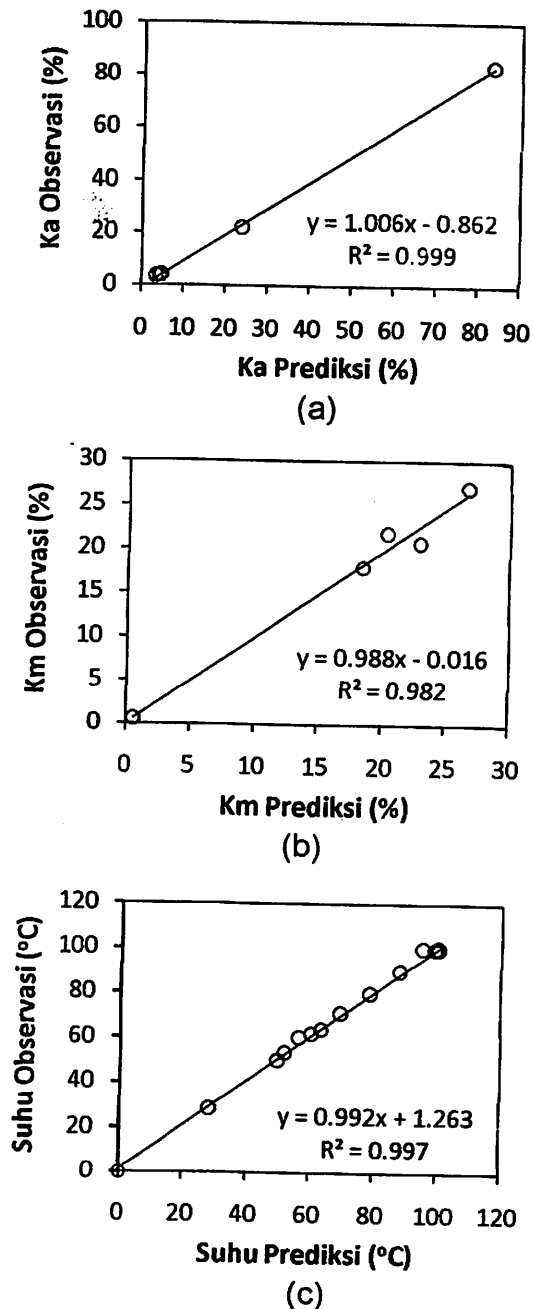


Gambar 13. Riwayat suhu, perubahan kadar air dan kandungan minyak secara simultan antara hasil observasi dan prediksi proses penggorengan bahan pada keadaan vakum, suhu 100 °C dan tekanan 70 cmHg.

Berdasarkan Gambar 13, dapat dipahami bahwa proses perpindahan massa dan panas secara simultan proses penggorengan bahan pada keadaan vakum dapat dijelaskan dengan baik menggunakan model matematika. Dalam penelitian ini telah dicoba dikembangkan model matematika perpindahan massa dan panas secara simultan selama proses penggorengan yang menggambarkan keadaan bahan baku, kondisi proses dan kualitas produk yang dihasilkan. Model matematika perpindahan panas dan massa disusun berdasarkan pada jumlah komponen yang dikandung oleh bahan, dan diduga akan mengalami reaksi selama proses penggorengan. Perpindahan massa dan panas akan dimodelkan dengan model fisik "*lump capacitance*".

Hasil pengembangan model matematika dalam penelitian ini didasarkan pada kondisi bahan baku, sehingga ditemukan persamaan (17), (20), (23), (25), (27), (29), persamaan-persamaan tersebut digunakan untuk menjelaskan perpindahan massa di dalam bahan yang terdiri dari; air, minyak, pati, sukrosa, glukosa dan  $\beta$ -karten, selanjutnya persamaan-persamaan tersebut disubstitusi secara bersamaan ke dalam persamaan (30) sehingga menghasilkan persamaan (35) yang merupakan persamaan perpindahan massa dan panas secara simultan selama proses penggorengan. Persamaan (17), (20), (23), (25), (27), (29) dan (35) adalah persamaan diferensial ordiner order satu diselesaikan secara simultan secara numerik, menggunakan metode Runge-Kutta dengan bahasa program *MATLAB*. Dari hasil penyelesaian simulasi persamaan

menggunakan persamaan (35) dapat diperoleh nilai hasil prediksi penurunan kadar air, penyerapan minyak, perpindahan panas secara simultan menggunakan model.



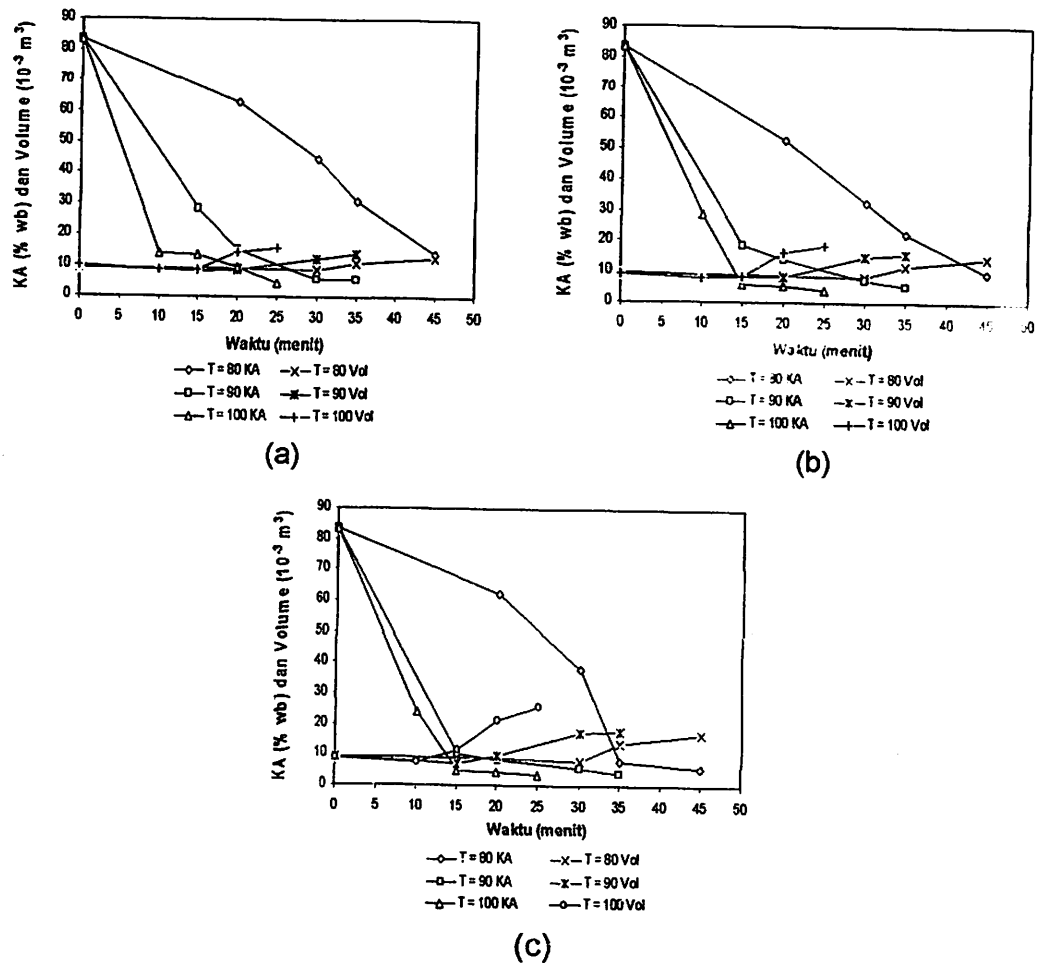
Gambar 14. Hubungan riwayat suhu, perubahan kadar air dan kandungan minyak secara simultan antara hasil observasi dan prediksi proses penggorengan bahan pada keadaan vakum, suhu 100 °C dan tekanan 70 cmHg.

Riwayat suhu, penurunan kadar air dan penyerapan minyak secara simultan selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum ditunjukkan pada Gambar 14. Dari gambar tersebut nampak ada kecendungan data observasi yang terdiri dari suhu, penurunan kadar air dan penyerapan minyak pada bahan mengikuti data prediksi dengan nilai  $SSE = 0,156$ . Keandalan model yang ditemukan diuji dengan menggunakan grafik secara skater plot dengan cara membandingkan antara hasil observasi dan simulasi yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 14. Dari gambar tersebut didapat nilai  $R^2$  untuk penurunan kadar air, penyerapan minyak dan perpindahan panas masing-masing adalah 0,999, 0,982 dan 0,997. Menurut Edwards (1976) apabila nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,75 maka model yang diuji dapat dinyatakan valid. Dari uraian ini sehingga dapat dikatakan bahwa model matematika perpindahan massa dan panas secara simultan yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk menduga penurunan kadar air, penyerapan minyak dan perpindahan panas secara simultan selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum.

#### **B. Perubahan Volume selama Proses Penggorengan Bahan pada Keadaan Vakum**

Selama proses penggorengan keadaan vakum, bahan yang digoreng mengalami perubahan volume (penyusutan dan pemekaran). Penyusutan dan pengembangan bahan yang digoreng dipengaruhi oleh suhu penggorengan dan tekanan vakum. Penyusutan didefinisikan sebagai pengurangan volume pada arah panjang dan lebar, sedangkan

pengembangan bahan didefinisikan sebagai perubahan volume pada arah ketebalan. Penyusutan bahan lebih cepat terjadi pada suhu penggorengan yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu penggorengan yang rendah pada tekanan vakum yang sama.



Gambar 15. Hubungan perubahan kadar air dengan volume terhadap waktu proses penggorengan bahan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 dan (c) tekanan 70 cmHg.

Penyusutan lebih besar terjadi saat bahan digoreng pada tekanan vakum yang lebih rendah dengan waktu yang sama. Begitu juga dengan pengembangan bahan lebih besar terjadi ketika proses penggorengan dilakukan pada tekanan vakum lebih rendah dengan waktu yang sama.

Oleh sebab itu pengaruh tekanan terhadap perubahan volume kentang goreng penting dipertimbangkan dan dimasukkan ke dalam model agar perubahan mutu pada produk dapat diperkirakan secara akurat. Penyusutan disebabkan karena hilangnya air di dalam bahan (Gambar 15a, 15b dan 15c). Dari gambar nampak kebanyakan penyusutan terjadi setelah 10 sampai 15 menit penggorengan pada bagian dimensi panjang dan lebar dari bahan, sedangkan kebanyakan pengembangan terjadi setelah 20 menit penggorengan pada dimensi ketebalan dari bahan, atau pada kadar air yang sangat rendah.

Dalam penelitian ini pengembangan model empiris faktor penyusutan dan pemekaran diambil dari data hasil percobaan Kawas dan Moreira (2000). Penyusutan diperhitungkan dengan melibatkan adanya air yang terikat, penghilangan air yang terikat dianggap sebagai penyebab penyusutan pada struktur sel bahan, sedangkan pemekaran adalah penambahan ketebalan disebabkan oleh pembentukan gelembung udara pada permukaan produk. Sesuai dengan algoritma pemekaran (Achanta *et. al.*, 1995), pemekaran lebih banyak terjadi pada bagian tengah bahan. Hal tersebut terjadi karena lebih banyak tekanan gas terdapat pada bagian tengah bahan. Menurut Barat, Fito, dan Chiralt (2001); Kawas dan Moreira (2000) penyusutan dinyatakan sebagai persentase perubahan ketebalan dan diameter. Sedangkan derajat penyusutan perubahan volume ( $S_v$ ) menurut Taiwo dan Baik (2006) dapat diselesaikan dengan persamaan di bawah ini.

$$S_v = \left( \frac{V_o - V(t)}{V_o} \right) \times 100 \quad (75)$$

Dimana  $V_o$  adalah volume sampel sebelum digoreng ( $m^3$ ) dan  $V(t)$  adalah volume sampel setelah digoreng pada waktu  $t$ .

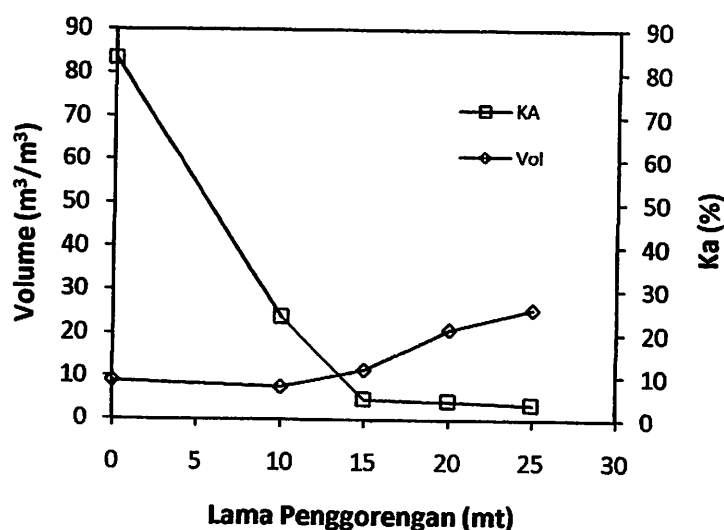
Derajat perubahan volume (pemekaran) sangat menentukan kerenyahan produk, makin mekar (mengembang) produk semakin renggang strukturnya sehingga sifat teksturnya renyah. Pemekaran produk ( $V_p$ ) diduga dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi air di dalam produk selama proses penggorengan. Sehingga pemekaran produk, didefinisikan sebagai fungsi dari perubahan konsentrasi air dalam produk yang dapat dijelaskan dalam bentuk persamaan.

$$V_{p(Ca)} = aC_a^x \quad (76)$$

Secara realistik suatu model mikroskopik akan dikembangkan untuk menggambarkan pengembangan pori bahan baku sebelum dan setelah digoreng.

Dalam penelitian ini perubahan volume bahan didapat dari menghitung rasio antara bahan mentah dengan volume bahan setelah digoreng, dengan bentuk sampel diasumsikan mendekati silinder. Mutu ditentukan oleh kemudahan pecahnya partikel-partikel penyusunnya bila produk tersebut dikunyah, kemudian pada bahan tertentu tergantung pada ukuran granula patinya yang masih mengembang. Makin besar pengembangannya, semakin renggang struktur bahan menyebabkan teksturnya menjadi renyah. Pada beberapa bahan makanan tertentu yang banyak mengandung air, seperti kentang dan ketela pohon, bila digoreng

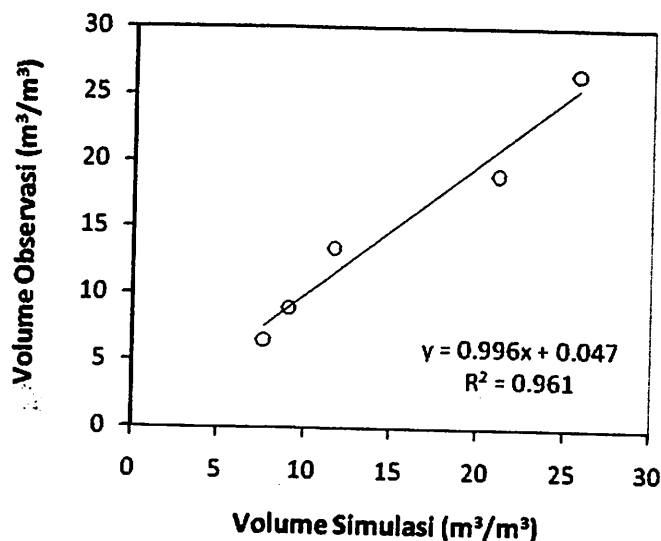
akan mengalami sedikit penyusutan. Diduga terjadi karena tingkat pengembangan yang terjadi lebih kecil (Gambar 16).



Gambar 16. Perubahan volume sebagai fungsi kadar air selama proses penggorengan bahan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg.

Kentang goreng termasuk bahan higroskopik, sehingga penghilangan air terikat yang berada dalam matriks padatan dapat menyebabkan terjadinya pengerutan struktur. Pengerutan dalam penelitian ini didefinisikan sebagai pengurangan pada arah panjang dan lebar. Dua metoda telah dipelajari dan salah satunya dipakai kedalam model. Pertama *Crapiste et. al.*, (1988) memperkenalkan istilah kecepatan pengerutan yang bergantung pada data percobaan perubahan dimensi sebagai fungsi kadar lengas. Metoda kedua yang hampir sama dengan metoda kecepatan pengerutan menggunakan data percobaan untuk menghasilkan hubungan empiris pengerutan.





Gambar 17. Perubahan volume bahan sebagai fungsi kadar air antara hasil observasi dengan simulasi selama proses penggorengan pada keadaan vakum suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan vakum  $70\text{ cmHg}$ .

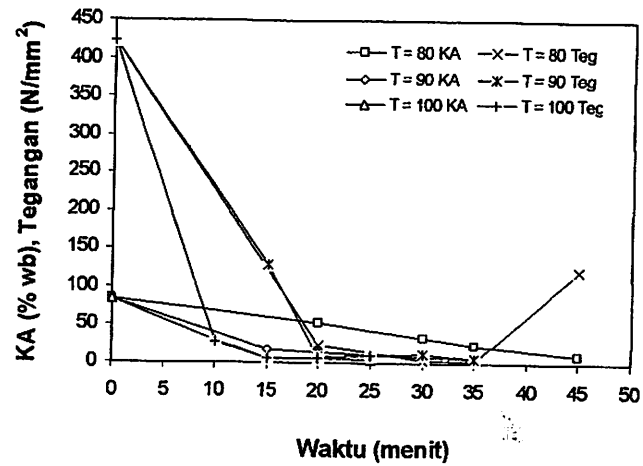
Setelah semua air terikat hilang, bahan akan mulai mengembang disebabkan adanya tekanan gas di dalam bahan yang di goreng. pengembangan didefinisikan sebagai penambahan ketebalan pada bahan yang goreng disebabkan oleh pembentukan gelembung udara pada permukaan. Wilayah kerak akan menimbulkan hambatan yang tinggi terhadap difusi gas menyebabkan timbulnya tekanan serta pembentukan kantong gas. Untuk menjelaskan pengembangan yang disebabkan oleh pengembangan dalam penelitian, maka ditinjau adanya hubungan empiris yang mirip dengan hubungan pada pengerutan.

Pengembangan mulai terjadi pada saat kerak sedang mulai terbentuk. Pembentukan kerak sangat mengurangi laju perpindahan panas sehingga menyebabkan peningkatan tekanan di dalam bahan.

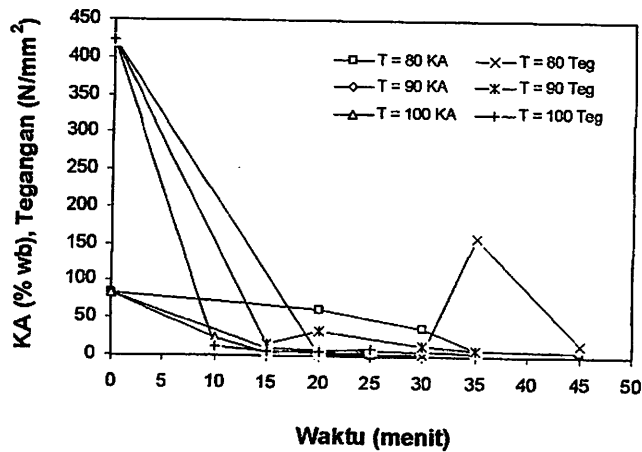
Lonjakan tekanan tersebut menyebabkan pengembangan pori, yang menghasilkan produk akhir yang renyah. Oleh sebab itu hasil yang diajukan dalam penelitian ini akan membantu menjelaskan sebagian gejala perubahan tekstur yang belum terungkap pada penelitian sebelumnya. Gambar 17 menjelaskan hubungan antara data volume hasil observasi dengan perhitungan. Dari gambar tersebut nampak nilai  $R^2$  sama dengan 0.961 atau lebih besar dari 0,75 (Edwards, 1976; apabila nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,75 maka dapat dinyatakan valid), sehingga dapat dipahami bahwa model empirik yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan volume bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum.

### **C. Perubahan Tekstur selama Proses Penggorengan pada Bahan Keadaan Vakum**

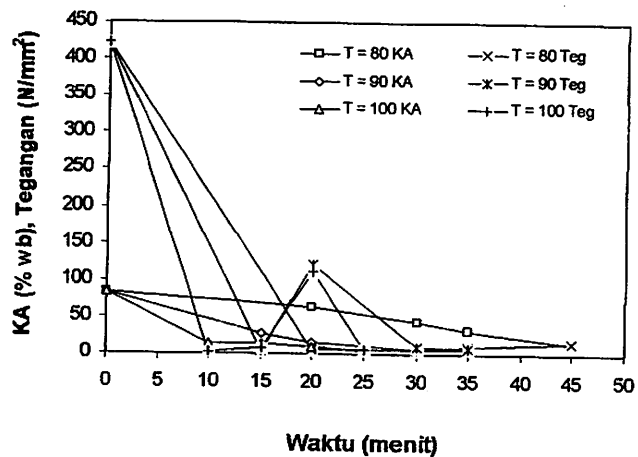
Perubahan tekstur pada bahan diduga ada hubungannya dengan perubahan kadar air, proses pembentukan kerak serta pengembangan pori di dalam bahan yang digoreng (Gambar 18a, 18b dan 18c). Akibat adanya pemanasan sehingga air di dalam bahan akan keluar melalui pori-pori bahan, kemudian secara perlahan-lahan pada permukaan bahan terjadi pembentukan kerak dan sebagian air terjebak di dalam bahan. Karena terbentuknya kerak, sehingga air yang terjebak berusaha keluar dan berubah menjadi gas menyebabkan pembentukan gelembung gas kemudian bahan menjadi mengembang dan pori-pori menjadi lebih besar sehingga tekstur bahan menjadi lebih renyah.



(a)

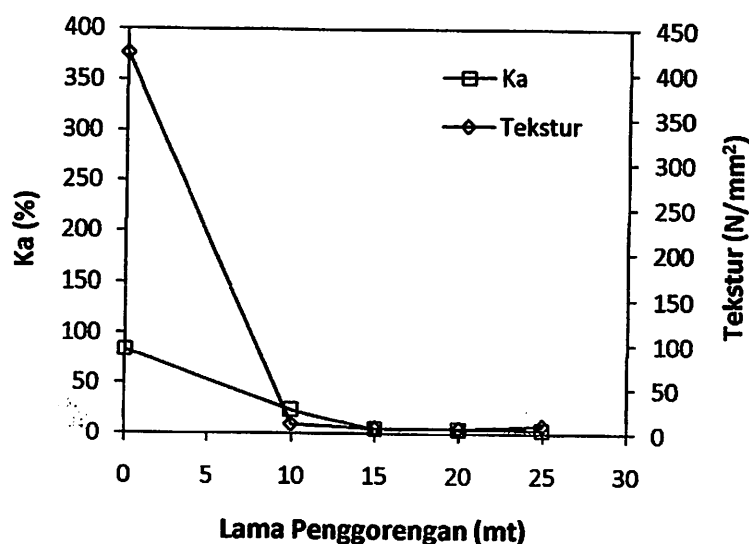


(b)

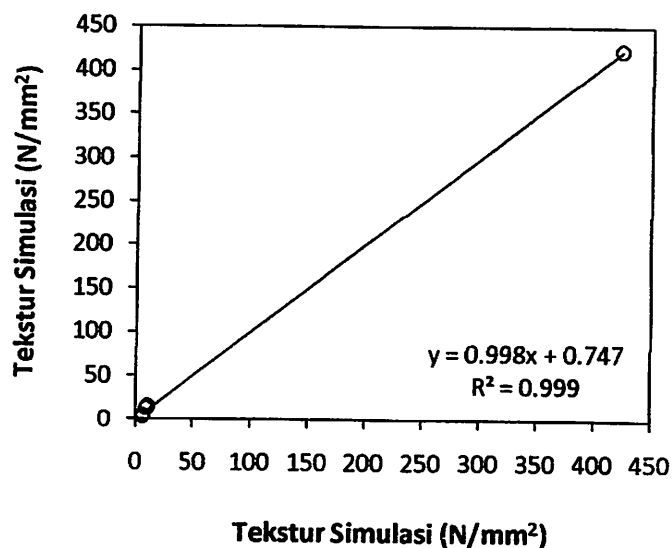


(c)

Gambar 18. Hubungan perubahan kadar air dengan tekstur terhadap waktu proses penggorengan bahan pada keadaan vakum (a) tekanan 60 cmHg, (b) tekanan 65 cmHg dan (c) tekanan 70 cmHg



Gambar 19. Perubahan tekstur bahan sebagai fungsi kadar air selama proses penggorengan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg



Gambar 20. Perubahan tekstur bahan sebagai fungsi kadar air antara hasil observasi dengan simulasi selama proses penggorengan pada keadaan vakum suhu 100 °C dan tekanan vakum 70 cmHg

Tekstur adalah merupakan atribut yang penting dari mutu makanan, kadang-kadang lebih penting daripada baurasa dan warna. Kualitas tekstur produk ditentukan oleh mudahnya pecah partikel penyusun produk

apabila dikunyah. Sifat tekstur yang renyah adalah; keras, dapat retak dan mudah saat digigit, serta menimbulkan bunyi yang berderak ketika dikunyah. Sifat tekstur produk ( $T_s$ ) diduga dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi air di dalam produk selama proses penggorengan. Di dalam penelitian ini dicoba dikembangkan secara empiris perubahan tekstur bahan sebagai fungsi kadar air. Tekstur produk, adalah merupakan fungsi dari konsentrasi air dalam produk yang dapat dijelaskan dalam bentuk persamaan.

$$T_s (Ca) = aC_a^x \quad (77)$$

Kandungan air dalam bahan makanan menyebabkan tekstur yang renyah pada penggorengan bahan makanan. Namun tidak semua bahan makanan dapat menghasilkan tekstur yang renyah, tergantung banyaknya kandungan air di dalam bahan dan faktor-faktor yang berpengaruh, seperti suhu, tekanan dan lama waktu penggorengan (Gambar 20). Dari gambar tersebut nampak nilai tekstur berubah sesuai dengan berubahnya kandungan air di dalam bahan yang berbeda-beda. Tekstur bahan dipengaruhi oleh kondisi kadar air. Oleh sebab itu hasil yang diajukan dalam penelitian ini akan membantu menjelaskan sebagian gejala perubahan tekstur yang belum terungkap pada penelitian sebelumnya. Gambar 20 menjelaskan hubungan antara data tekstur hasil observasi dengan perhitungan. Dari gambar tersebut nampak nilai  $R^2$  sama dengan 0.999 atau lebih besar dari 0,75 (Edwards, 1976; apabila nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,75 maka dapat dinyatakan valid), sehingga

dapat dipahami bahwa model empirik yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan tekstur bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum.

dapat dipahami bahwa model empirik yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan tekstur bahan selama proses penggorengan pada keadaan vakum.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini antara lain adalah:

1. Model matematika perpindahan massa dan panas secara simultan yang telah dikembangkan dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi perpindahan massa dan panas secara simultan selama proses penggorengan bahan pada kondisi vakum dengan mengetahui kondisi dan karakteristik bahan baku.
2. Dalam penelitian ini perubahan volume diduga disebabkan oleh karena adanya perubahan konsentarsi air. Secara empirik model matematika yang telah dikembangkan tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan volume sebagai fungsi kadar air bahan yang mengalami perubahan selama proses penggorengan.
3. Dalam penelitian ini perubahan tekstur diduga disebabkan oleh karena adanya perubahan konsentarsi air. Secara empirik model matematika yang telah dikembangkan tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan tekstur sebagai fungsi kadar air bahan yang mengalami perubahan selama proses penggorengan.



## **B. Saran**

Agar dapat diperoleh standarisasi mutu produk gorengan sesuai dengan standar mutu yang sukai oleh konsumen (sesuai standar mutu), sangat penting diperhatikan karakteristik dan kondisi bahan baku makanan gorengan dan pengendalian terhadap kondisi proses penggorengan. Hasil penelitian ini belum berhasil mengungkap beberapa sifat karakteristik bahan baku terhadap kualitas produk, misalnya kemungkinan terjadinya perubahan warna dan peristiwa lainnya yang belum berhasil dijelaskan, sehingga diusahakan pada penelitian selanjutnya diharapkan hal-hal yang belum terungkap dapat dikemukakan dengan baik.

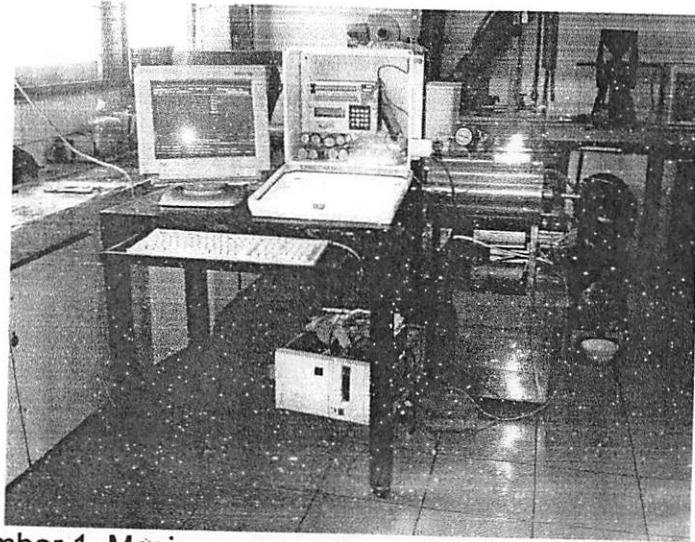
## DAFTAR PUSTAKA

- Achanta, S, M.R. Okos, J.H. Cushman and D.P. Kessler, 1995. Moisture transport in shrinking gels during saturated drying. *Journal of Colloid and Interface Science* **169**, pp. 58–68.
- Asensio, M. C., 1999. *Transport phenomena during drying of deformable, hygroscopic porous media: Fundamentals and applications*. Ph.D. dissertation, Texas A&M University, College Station, TX.
- Ateba, P., and G.S. Mittal, 1994. Modeling the deep-fat frying of beef meatballs. *International Journal of Food Science and Technology* **29**, pp. 429–440.
- Baik, O D, dan G S Mittal, 2005. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. *Food Res. International*, **38**:183-191
- Bird, R.B., Stewart, W.E., and E.N., 1960. *Lightfoot Transport phenomena*, Wiley, New York.
- Chen, Y., 1996. *Simulation of a deep-fat frying process for tortilla chips*. M.S. thesis, Texas A&M University, College Station, TX.
- Choi, Y., and Okos, 1986. *Physical and chemical properties of foods*, ASAE, St Joseph, MI.
- Chung, D.S., and Pfoest, H.B., 1967. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. *Transactions of the ASAE* **10**, pp. 549–557.
- Crapiste, G.H. S. Whitaker and E. Rotstein , 1988. Drying of cellular material-I. A mass theory. *Chemical Engineering Science* **43** 11, pp. 2919–2928.
- Crapiste, G.H., Whitaker, S., Rotstein, E., 1988. Drying of cellular material-II. Experimental and numerical results. *Chemical Engineering Science* **43** 11 (1988b), pp. 2929–2936.
- Dincer, I., and M. Yildiz, 1996. Modeling of thermal and moisture diffusions in cylindrically shaped sausages during frying. *Journal of Food Engineering* **28**, pp. 35–43.
- Farkas, B.E., and. Hubbard, L.J., 2000. Analysis of convective heat transfer during immersion frying. *Drying Technology* **18**, pp. 1269–1285.
- Farkas, B.E., Singh, R.P., and Rumsey, T.R., 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying, part I: Model development. *Journal of Food Engineering* **29** (1996a), pp. 211–226.

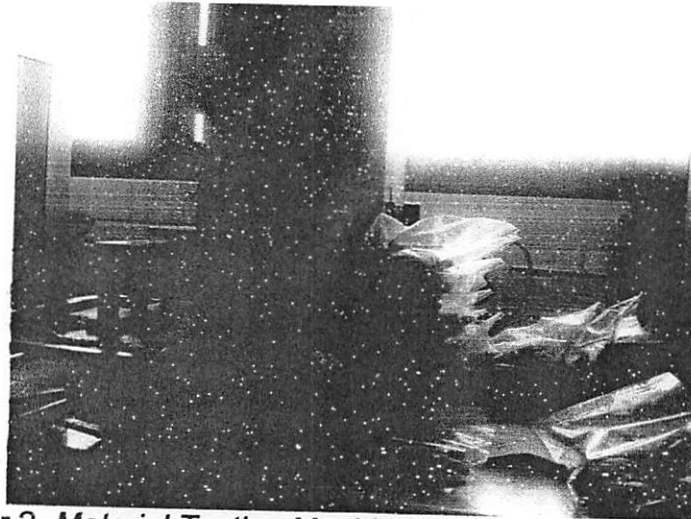
- Farkas, B.E., Singh, R.P., and Rumsey, T.R., 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying, part II: Model solution and verification. *Journal of Food Engineering* **29**, pp. 227–248.
- Fennema, O.R., 1985. *Food chemistry* (2nd ed.), Marcel Dekker, New York.
- Gamble et al., 1987. M.H. Gamble, P. Rice and J.D. Selman, Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slice from UK tubers. *International Journal of Food Science and Technology* **22**, pp. 223–241.
- Garayo, J. & Moriera R, 2001. Vacuum fraying of potato chips. *Journal of Food Engineering* **55**, pp. 181–191.
- Jung, M. Y., D. S. Choi, J. W. Ju, 2003. A Novel Technique for Limitation of Acrylamide Formation in Fried and Baket Corn Chips and in French Fries. *J of Food Sci.* **68(4)**:1287.
- Kawas and Moreira, 2000. M.L. Kawas and R.G. Moreira, Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. *Journal of Food Engineering* **47**, pp. 97–107.
- Kawas, M. L., 2000. *Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process*. M.S. thesis, Texas A&M University, College Station, TX.
- Lujan-Acosta and Moreira, 1996. F.J. Lujan-Acosta and R.G. Moreira, Relationship between tortilla chips microstructure and oil reduction. *Cereal Chemistry Journal* **74**, pp. 216–223.
- Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., and. Barrufet, M.A., 1999. *Deep-fat frying of food-fundamentals and applications*, Aspen Publishers, Gaithersburg, MD.
- Moreira, R.G., and Barrufet, M.A., 1998. A new approach to describe oil absorption in fried foods: A simulation study. *Journal of Food Engineering* **35**, pp.1–22.
- Moreira, R.G. Moreira, J.E. Palau and X. Sun, 1995. , Deep-fat frying of tortilla chips: An engineering approach. *Food Technology* **49**, pp. 146–150.
- Moreira, R.G., J.E. Palau, V. Sweat and X. Sun, 1995. Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time. *Journal of Food Processing and Preservation* **19**, pp. 175–189.
- Ni, H., and Datta, A.K., 1999. Moisture, oil and energy transport during deep frying of food materials. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers* **77**, pp. 194–203.

- Rice, P., and Gamble, M.H., 1989. Technical note: Modeling moisture loss during potato slice frying. *International Journal of Food Science and Technology* **24**, pp. 183–187.
- Shyu, S., & Hwang, L, S. 2001. Effect of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*, **34**. 133-142
- Shyu, S., hau, L., & Hwang, L, S. 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *Journal of American Oil Chemical Society*, **75**. 1393-1398
- Sun, X., & Moreira, R. G. 1994. Oil distribution in tortilla chips during deep-fat frying. *American Society of Agricultural Engineers Paper no. 94-6506* (pp. 1–13). St. Joseph, MI: ASAE.
- Whitaker, S., 1977. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media: A theory of drying. *Advances in Heat Transfer* **13**, pp. 119–203.
- Williams, R., dan G. S. Mittal, 1999. Low-fat fried foods with edible coating: modeling and simulation. *J. of Food Sci.* **64**:317-322.
- X. Xiong, G. Narsimhan and M.R. Okos, 1991. Effect of composition and pore structure on binding energy and effective diffusivity of moisture in porous food. *Journal of Food Engineering* **15**, pp. 187–208.
- Yamsaengsung, & Moriera, 2001. *Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying*. Part I: Model development. *Journal of Food Engineering* **53**, pp. 1–10.
- Yamsaengsung, & Moriera, 2001. *Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying*. Part II: Model solution & validation. *Journal of FoKYRUQASGJSHJod Engineering* **53**, pp. 11–25.

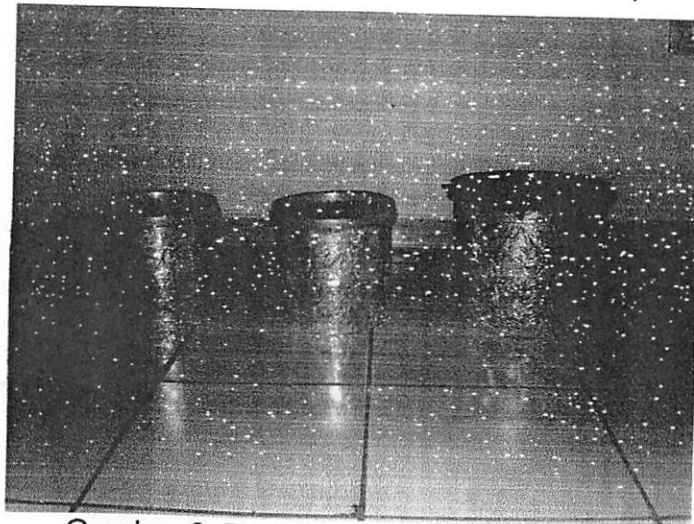
LAMPIRAN



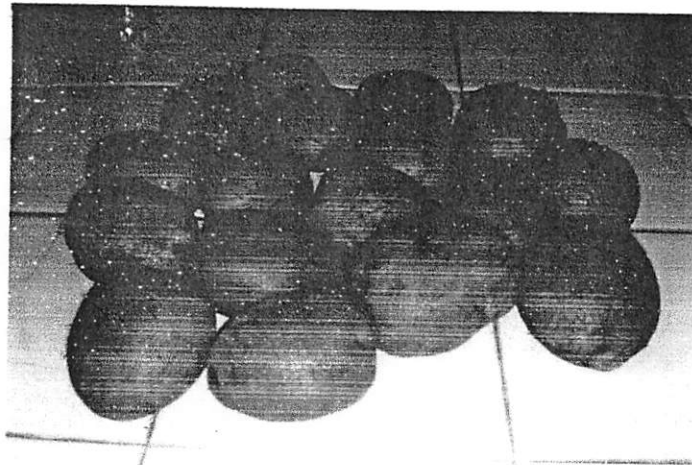
Gambar 1. Mesin penggorengan vakum hasil rancangan



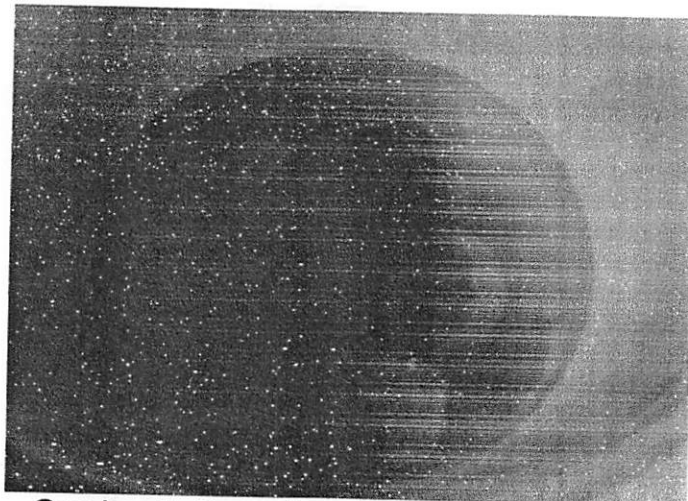
Gambar 2. *Material Testing Machine Do-FBO.STS (Zwisch/Zo.5).*



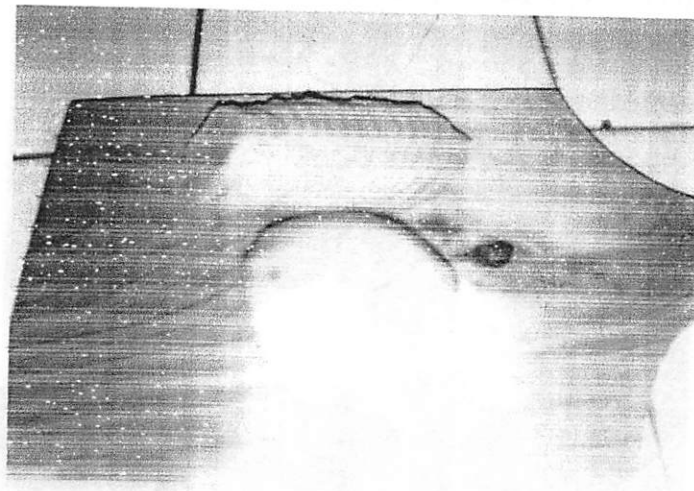
Gambar 3. Toples penyimpanan produk



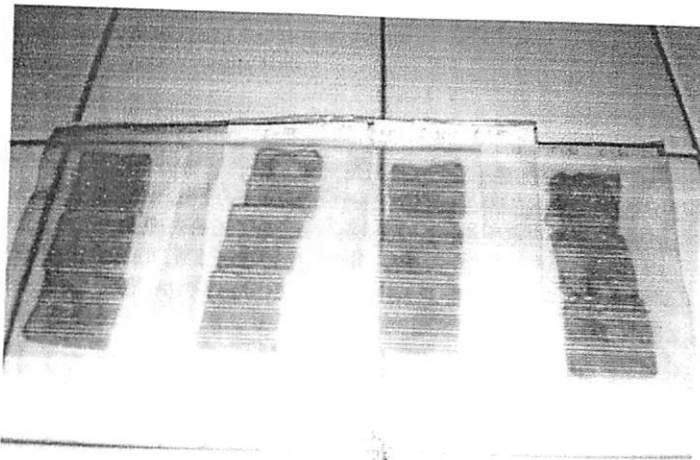
Gambar 4. Kentang sebagai bahan baku



Gambar 5. Perendaman bahan baku sesaat



Gambar 6. Bahan baku setelah slaising



Gambar 7. Produk untuk pengukuran volume



Gambar 8. Produk keripik nangka (digoreng T 100°C, P 65 cmHg dan t45mt



Gambar 9. Produk keripik nangka (digoreng T 90°C, P 65 cmHg dan t45mt





DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR  
**LEMBAGA PENELITIAN**

Kampus UNM Jl. A. Pangerang Pettarani, Makassar - 90222  
Telepon (0411) 884533 - 868687 Fax. 884533

- \* Puslit Kependudukan dan Lingkungan Hidup
- \* Puslit Makanan Tradisional, Gizi dan Kesehatan
- \* Puslit Pemberdayaan Perempuan
- \* Puslit Pengembangan Ilmu Pendidikan
- \* Puslit Budaya dan Seni Etnik Sulawesi

**SURAT PERJANJIAN  
PELAKSANAAN PENELITIAN HIBAH BERSAING  
TAHUN ANGGARAN 2009  
NOMOR : 241/H36.9/PG/2009**

Pada hari ini **kamis** tanggal **enam belas** bulan **april** tahun **dua ribu sembilan**, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

- 1 Prof.Drs.H.M.Arif Tiro, M.Pd, M.Sc.Ph.D : Sebagai Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar yang berkedudukan di Makassar dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**.
- 2 Drs. Jamaluddin, MP : Dosen FT Universitas Negeri Makassar dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama tim peneliti seperti tercantum dalam proposal penelitian selaku Ketua Pelaksana Penelitian selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

**PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu perjanjian pelaksanaan penelitian dengan ketentuan dan syarat-syarat yang diatur dalam pasal-pasal berikut:

**Pasal 1**

**PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penelitian dengan judul:

*Model Perpindahan Panas dan Massa Proses Penggorengan Makanan Kaya Karbohidrat pada Keadaan Hampa*

**Pasal 2**

**PIHAK PERTAMA** memberikan dana penelitian yang tersebut pada pasal 1 sebesar Rp.50.000.000,- (lima puluh juta rupiah) sesuai Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Makassar Nomor: 3307/H36/PL/2009 tanggal 15 April 2009 yang dibebankan kepada DIPA Universitas Negeri Makassar Nomor: 0220/023-04.2/XXXIII/2009 tanggal 31 Desember Tahun 2008.

*(Handwritten signature/initials)*

### Pasal 3

Pembayaran biaya penelitian akan dibayarkan secara bertahap sebagai berikut:

- a. Pencairan dana tahap pertama 70% sebesar Rp. 35.000.000 (tiga puluh lima juta rupiah) setelah surat perjanjian pelaksanaan pekerjaan penelitian ini ditandatangani oleh kedua belah pihak, seminar awal, seminar antara, seminar hasil penelitian dan menyerahkan laporan pertanggung jawaban keuangan disertai logbook dan laporan kemajuan penelitian, pembayaran pajak honorarium PPH 21 (15%) tahap I dengan rincian  
Jumlah Dana Tahap I = Rp. 35.000.000  
Honorarium PPH 21 (15%) = Rp. 4.200.000 x 15% = Rp. 630.000  
Jumlah dana yang ditransfer = Rp. 34.370.000  
ke rekening peneliti
- b. Pencairan dana tahap kedua 30% sebesar Rp. 15.000.000 (lima belas juta rupiah) setelah laporan lengkap penelitian didokumentasikan oleh Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar, pembayaran pajak honorarium PPH 21 (15%) tahap ke II dengan rincian  
Jumlah Dana Tahap II = Rp. 15.000.000  
Honorarium PPH 21 (15%) = Rp. 1.900.000 x 15% = Rp. 285.000  
Jumlah dana yang ditransfer = Rp. 14.715.000
- c. Dana kegiatan pelaksanaan penelitian hibah bersaing sebagaimana dimaksud pada pasal 3 ayat (a,b) dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** :  
Nama pada Rekening : **JAMALUDDIN P. DRS.MP**  
Nomor Rekening : **5079-01-000437-50-6 (Bank BRI Unit Sungguminasa)**  
NPWP : **47.343.522.0-805.000**
- d. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban mengorganisir dan memfasilitasi:
  - (1) Seminar awal.
  - (2) Seminar antara.
  - (3) Seminar hasil penelitian.
  - (4) Administrasi penelitian, sesuai fungsi dan peran Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar.

### Pasal 4

**PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk:

- a. Mengikuti seminar awal.
- b. Mengikuti seminar antara.
- c. Mengikuti seminar hasil penelitian.
- d. Menyerahkan luaran yang ditargetkan, seperti (1) proses dan produk ipteks berupa metode, blue print, prototipe, sistem, kebijakan/model, atau (2) HKI berupa paten atau lainnya, atau (3) teknologi tepat guna yang langsung dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, atau (4) artikel di berkala ilmiah nasional atau yang bereputasi internasional, atau (5) bahan ajar dan (6) laporan lengkap penelitian.
- e. Membayar pajak sesuai ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

## Pasal 5

- a. Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan (April s.d. 30 November 2009), terhitung dari tanggal yang tercantum dalam surat perjanjian pelaksanaan.
- b. Apabila **PIHAK KEDUA** dengan suatu alasan tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan perjanjian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib menyerahterimakan tanggung jawab kepada penggantinya (anggota).
- c. Apabila batas waktu habisnya penelitian ini **PIHAK KEDUA** belum menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada **PIHAK PERTAMA**, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan denda sebesar 1‰ (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai surat perjanjian pelaksanaan penelitian, terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan sampai dengan berakhirnya pembayaran dana penelitian.
- d. Apabila **PIHAK KEDUA** tidak menyerahkan laporan hasil penelitiannya sampai batas waktu yang telah ditetapkan pada kontrak kerja ini dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan batas waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka seluruh biaya yang bersangkutan yang belum sempat dicairkan, dinyatakan hangus (tidak dapat dicairkan kembali).
- e. Kelalaian yang menyebabkan tidak selesainya penelitian sehingga luaran yang dijanjikan dalam proposal sebagaimana dimaksud pada pasal 4 ayat (d) tidak terpenuhi menjadi tanggung jawab **PIHAK KEDUA**.

## Pasal 6

**PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menjamin bahwa penelitian dengan judul sebagaimana disebut pada pasal 1 bukan plagiat atau duplikasi penelitian. Jika ternyata bahwa penelitian yang dilakukan adalah plagiat atau duplikasi penelitian, maka **PIHAK KEDUA** bersedia dibatalkan penelitiannya oleh **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan semua dana yang diterima.

## Pasal 7

- a. **PIHAK KEDUA** harus menyerahkan laporan hasil penelitian sebanyak 8 (delapan) eksemplar dan 1 (satu) buah *soft copy*.
- b. Laporan hasil penelitian dalam bentuk *hard copy* tersebut harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
  1. Bentuk/ukuran kertas kuarto.
  2. Warna sampul muka orange.
  3. Dibawah bagian kulit ditulis: Dibiayai oleh DIPA Universitas Negeri Makassar No: 0220/023-04.2/XXXIII/2009 Sesuai Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Makassar Nomor: 3307/H36/PL/ 2009 tanggal 15 April 2009.
- c. **PIHAK KEDUA** juga diharuskan untuk mengirimkan 1 (satu) eksemplar laporan hasil penelitian (*hard copy*) langsung kepada :
  1. Perpustakaan Nasional Republik Indonesia, Jalan Salemba Raya 28 A, Jakarta 1002.
  2. Pusat Dokumentasi Ilmiah Indonesia (PDII) Lipi, Jalan Gatot Subroto, Jakarta.



3. Bappenas C.Q. Biro Apko, Jalan Suropati No.2, Jakarta.
4. Perpustakaan perguruan tinggi yang bersangkutan.
5. Fakultas masing-masing peneliti.

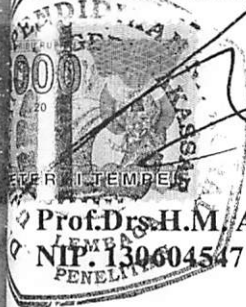
#### Pasal 8

Surat perjanjian pelaksanaan pekerjaan hibah penelitian ini dibuat rangkap 3 (tiga), dua diantaranya dibubuhi materai sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

#### Pasal 9

- a. Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah.
- b. Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini ditentukan kemudian oleh kedua belah pihak secara musyawarah.

**PIHAK PERTAMA**



Prof. Drs. H.M. Arif Tiro, M.Pd, M.Sc. Ph.D

NIP. 130604547

**PIHAK KEDUA**

Drs. Jamaluddin, MP

NIP. 132008281



Menyetujui

Rektor

Prof. Dr. H. Arismunandar, M.Pd

NIP. 131658841



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR  
**LEMBAGA PENELITIAN**

Kampus UNM Jl. A. Pangarong Pattarani, Makassar - 90222  
Telepon (0411) 854533 - 855557 Fax. 854533

- \* Pusat Kependudukan dan Lingkungan Hidup
- \* Pusat Makanan Tradisional, Gizi dan Kesehatan
- \* Pusat Pemberdayaan Perempuan
- \* Pusat Pengembangan Ilmu Pendidikan
- \* Pusat Budaya dan Seni Etnik Sulawesi

no : 308/H36.9/PG/2009  
p. : 1 (satu) eksemplar proposal  
l : Izin Penelitian

20 April 2009

Kepala Badan Kesbang Provinsi Sulawesi Selatan  
di Makassar

gan hormat disampaikan bahwa dosen yang tersebut namanya di bawah ini :

na : Drs. Jamaluddin, MP  
: 132008281  
litas/Jurusan : FT UNM

n melakukan Penelitian dengan judul:  
*tel perpindahan panas dan massa proses penggorengan makanan kaya karbohidrat  
keadaan hampa (Penyelesaian dan Validasi Model)*

asi Penelitian : Lap. TTP, KPUI FTP UGM, Lab TP

gota tim penelitian: . Hamzah Nur, S.Pd, M.Pd

ksanaannya direncanakan selama 8 bulan

ubungan dengan maksud tersebut, dimohon kiranya yang bersangkutan dapat  
rikan izin untuk melakukan penelitian.

bantuan dan kerjasamanya yang baik diucapkan terima kasih.



Prof. Drs. H. M. Arif Tiro, M.Pd, M.Sc, Ph.D  
NIP. 130604547

busan :  
an FT UNM



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR  
**LEMBAGA PENELITIAN**

Kampus UIN Jl. A. F. Pongkor, Pattanani, Makassar - 90222  
Telepon (0411) 884533 - 884537 Fax. 884533

- \* Pusat Kependudukan dan Lingkungan Hidup
- \* Pusat Makanan Tradisional, Gizi dan Kesehatan
- \* Pusat Pemberdayaan Perempuan
- \* Pusat Pengembangan Ilmu Pendidikan
- \* Pusat Budaya dan Seni Etnik Sulawesi

Nomor : 308/H36.9/PG/2009

20 April 2009

Jumlah : 1 (satu) eksemplar proposal

Tujuan : Izin Penelitian

Ke : Kepala Badan Kesbang Provinsi Sulawesi Selatan  
di Makassar

Dengan hormat disampaikan bahwa dosen yang tersebut namanya di bawah ini :

Nama : Drs. Jamaluddin, MP  
IP : 132008281  
Fakultas/Jurusan : FT UNM

akan melakukan Penelitian dengan judul:

*Model perpindahan panas dan massa proses penggorengan makanan kaya karbohidrat  
pada keadaan hampa (Penyelesaian dan Validasi Model)*

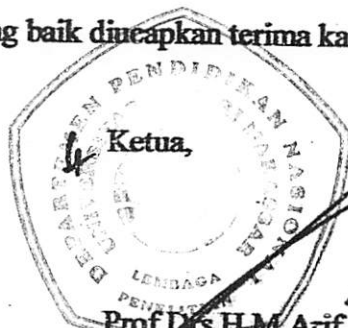
Lokasi Penelitian : Lap. TTP, KPUI FTP UGM, Lab TP

Anggota tim penelitian : Hamzah Nur, S.Pd, M.Pd

Dilaksanakannya direncanakan selama 8 bulan

Sehubungan dengan maksud tersebut, dimohon kiranya yang bersangkutan dapat  
memberikan izin untuk melakukan penelitian.

Sebagai bantuan dan kerjasamanya yang baik diucapkan terima kasih.



Prof. Drs. H. M. Arif Tiro, M.Pd, M.Sc, Ph.D  
NIP. 130604547

Sehubungan :  
Kepada FT UNM

## BIODATA PENELITI

1. Nama : Jamaluddin, Drs, MP
2. Tempat dan Tanggal Lahir : Enrekang, 23 Juli 1967
3. Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Makassar
4. Alamat : Jl. Daeng Tata Raya Kampus Fakultas Teknik UNM  
No. Telepon/Fax : 0411-864935/0411-864935  
E-mail : [www.thiyatjamal@com](mailto:www.thiyatjamal@com)  
No. Telepon Rumah/HP : 0411-885288/081328323593
5. Status Akademik : Dosen Pembimbing
6. Nama Jabatan Struktural : -
7. Pendidikan Terakhir :

Gelar	Tahun	Program Studi	Perguruan Tinggi	Kota Negara
Drs	1993	Teknik Mesin	IKIP Ujung Pandang	Makassar, Indonesia
MP	1998	Teknik Pertanian	UGM	Yogyakarta, Indonesia
Kandidat Doktor	Masuk 2005	Teknik Pertanian	UGM	Yogyakarta, Indonesia

8. Pengalaman Penelitian :

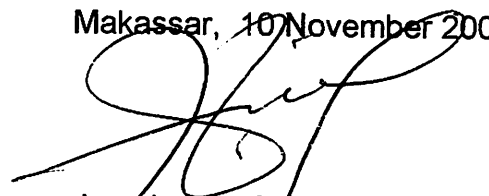
No	Judul	Tahun, Sumber Dana
1	Rekayasa Alat Pengering Biji Kakao dengan Bahan Bakar Serbuk Gergaji (Anggota)	1994, SPP DPP
2	Model Matematik Ekstraksi Pengempaan Uni Aksial Buah Markisa (Ketua)	2000, BBI DIKTI
3	Model Matematik Kinetika Pelunakan Tulang Ikan selama Pemanasan (Ketua)	2001, BBI DIKTI
4	Model Matematik Proses Pengeringan Buah Sirsak dengan Metode Spray Dyer (Ketua)	2002, BBI DIKTI
5	Perilaku Buah selama Proses Penggorengan Hampa Kajian Terhadap Sifat Mikrostruktural dan Makrostruktural (Anggota) (Tahun I)	2006, PF DIKTI

6.	Perilaku Buah selama Proses Penggorengan Hampa Kajian Terhadap Sifat Mikrostruktural dan Makrostruktural (Penyelesaian dan Validasi Model) (Anggota) (Tahun II)	2007, PF DIKTI
7	Model Perpindahan Panas dan Massa Proses Penggorengan Makanan Kaya Karbohidrat pada Keadaan Hampa (Ketua)	2008, HB DIKTI

9. Publikasi Ilmiah :

No	Judul
1	Pelunakan Tulang Ikan selama dalam Pemanasan, 2000. Agritech Majalah Ilmu dan Teknologi Pertanian.
2	Model Matematika Kinetika Pelunakan Tulang Ikan selama dalam Proses Pemanasan, 2001. Agritech Majalah Ilmu dan Teknologi Pertanian.
3	Rekayasa Mesin Pengupas Jambu Mete, 2001. Journal Dedikasi. Volume III, Nomor 6.13-17.
4	Model Pendugaan Kelunakan Tulang Ikan di dalam Daging Ikan Selama Pemanasan, 2001. Journal Dedikasi. Volume III, Nomor 5.13-20.
5	Penerapan Model Matematik pada Pengempaan Uniaksial, 2002. Insani Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia. Volume 6, No. 1.61-72
6	Perubahan Volume dan Tekstur Penggorengan Buah pada Kondisi Hampa, 2007. Agritech Majalah Ilmu dan Teknologi Pertanian (sedang dipreparasi)
7	Perpindahan Panas dan Massa Proses Penggorengan Buah pada Keadaan Hampa, 2008. Agrosains (sedang dipreparasi)

Makassar, 10 November 2009



Jamaluddin, Drs, MP  
Nip. 19670723 199203 1 002




## BIODATA PENELITIAN

1. Nama : Hamzah Nur, S.Pd, M.Pd
2. Tempat dan Tanggal Lahir : Bulukumba, 18 Mei 1974
3. Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Makassar
4. Alamat : Jl. Daeng Tata Raya Kampus Fakultas Teknik UNM  
No. Telepon/Fax : 0411-864935/0411-864935  
E-mail : [www.hamzahUNM@yahoo.com](mailto:www.hamzahUNM@yahoo.com)  
No. Telepon Rumah/HP : 0411-868084
5. Status Akademik : Dosen Pembimbing
6. Nama Jabatan Struktural : -
7. Pendidikan Terakhir :

Gelar	Tahun	Program Studi	Perguruan Tinggi	Kota Negara
Drs	1998	Teknik Mesin	UNM	Makassar, Indonesia
M.Pd	2005	Pendidikan Teknologi dan Kejuruan	UNY	Yogyakarta, Indonesia
Kandidat Doktor	Masuk 2006	Manajemen Pendidikan	UNJ	Jakarta, Indonesia

Makassar, 10 November 2009

  
Hamzah Nur, S.Pd, M.Pd  
Nip. 132257865



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR  
**LEMBAGA PENELITIAN**

Kampus UNM Jl. A. Pangerang Pettarani, Makassar - 90222

Telepon (0411) 884533 - 868687 Fax. 884533

- \* Puslit Kependudukan dan Lingkungan Hidup
- \* Puslit Makanan Tradisional, Gizi dan Kesehatan
- \* Puslit Pemberdayaan Perempuan
- \* Puslit Pengembangan Ilmu Pendidikan
- \* Puslit Budaya dan Seni Etnik Sulawesi

**SURAT KETERANGAN**

**No. 038/H36.9/PG/2010**

Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar menerangkan bahwa :

Nama : Drs. Jamaluddin,MP  
NIP : 19670723 199203 1 002  
Fakultas/Jurusan : Teknik

Telah melaksanakan penelitian dengan judul :

***Model Perpindahan Panas dan Massa Proses Penggorengan Makanan Kaya Karbohidrat Pada Keadaan Hampa (Penyelesaian Dan Validasi Model)***

Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan (April s/d November 2009 ), sebagai ketua Peneliti

Anggota tim peneliti :1. Hamzah nur, S.Pd. M.Pd

Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar mendokumentasikan Laporan Penelitiannya pada bulan November 2009

Demikian surat keterangan dibuat untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 26 Januari 2010

Ketua,



Prof.Drs.H.M.Arif Tiro, M.Pd, M.Sc, Ph.D  
NIP. 195204171977021001